

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การประเมินวัฏจักรชีวิตของเซลล์แสงอาทิตย์
ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิกอน



เลขหมู่..... 61514
เลขทะเบียน..... 18 ก.ค. 2549
วัน,เดือน,ปี.....

b.....
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LIFE CYCLE ASSESSMENT OF AMORPHOUS-SILICON SOLAR CELL



A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT
FOR THE DEGREE OF BACHELOR IN CHEMICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การประเมินวัฏจักรชีวิตของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิกอน
นักศึกษา นางสาวดลฤทัย ดันติวารภรณ์ รหัสนักศึกษา 44010704
นางสาววาสนีย์ วงศ์อารักษ์ รหัสนักศึกษา 44010826
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. ไพศาล นาคพิพัฒน์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์ยรรณฤดี เบญจางคประเสริฐ

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การประเมินวัฏจักรชีวิตของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิกอน		
นักศึกษา	นางสาวดลฤทัย ต้นดิตรารภรณ์	รหัสนักศึกษา	44010704
	นางสาววาสนีย์ วงศ์อารักษ์	รหัสนักศึกษา	44010826
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต		
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี		
พ.ศ.	2547		
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร. ไพศาล นาคพิพัฒน์		
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์รื่นฤดี เบญจางคประเสริฐ		

บทคัดย่อ

การประเมินวัฏจักรชีวิต เป็นการประเมินกระบวนการผลิตหรือผลิตภัณฑ์โดยพิจารณาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดทั้งวงจรชีวิตตั้งแต่การจัดหาวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การบรรจุภัณฑ์ การขนส่ง การใช้งาน ตลอดจนการกำจัดของเสียและซากผลิตภัณฑ์ การประเมินจะทำให้ทราบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น สามารถนำไปปรับปรุงกระบวนการให้มีความเหมาะสมและมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด ซึ่งโครงการนี้เป็นการประเมินวัฏจักรชีวิตของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิกอน โดยพิจารณาในช่วงกระบวนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ การบรรจุภัณฑ์ การกำจัดของเสีย การขนส่งผลิตภัณฑ์ไปยังผู้รับ และการใช้งาน โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro 5.1 โดยวิธีการ EDIP (Environmental Design of Industrial Product) และวิธี EcoIndicator'99 ในการวิเคราะห์ผล จากการประเมินผลทำให้ทราบว่าขั้นกระบวนการผลิตเป็นขั้นที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดเนื่องจากขั้นตอนนี้มีการใช้เครื่องจักรที่มีกำลังไฟฟ้าสูงและดำเนินการภายใต้สภาวะที่มีอุณหภูมิสูงมาก ขั้นที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากเป็นอันดับที่สองคือ ขั้นการขนส่งผลิตภัณฑ์ไปยังผู้รับ เนื่องจากระยะทางระหว่างบริษัทผู้ผลิตกับผู้ใช้งานมีระยะทางไกล ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานในการขนส่งมาก จึงเกิดมลภาวะมากด้วย

Senior Project	Life Cycle Assessment of Amorphous-Silicon Solar Cell	
Student	Miss Donruethai Tantiwaraporn	Student ID 44010704
	Miss Vaziny Wong-R-Ruk	Student ID 44010826
Degree	Bachelor of Engineering	
Programme	Chemical Engineering	
Year	2004	
Advisor	Assoc. Prof. Dr. Paisal Nakpipat	
Co-advisor	Ruenruedee Benjangkaprasert	

ABSTRACT

Life Cycle Assessment: LCA is a methodology to assess the environmental impact from the process or product along their life cycle; preparation of raw materials, processing, packaging, transportation, utilization and waste management. The results can be used to manage and adjust the process in order to have the appropriate and the least environmental impact. This project Life Cycle Assessment of Amorphous-Silicon Solar Cell is assessment of processing stage, packaging, waste management, transportation to user and utilization. By using a well known software: SimaPro 5.1 with Environmental Design of Industrial Product (EDIP) method and EcoIndicator'99 method, the results show that the highest environmental impact occurring in the production process due to the demand of electricity consumption. The second is the transportation due to the long distance between the production plant and the distribution.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลือจาก รศ.ดร. ไพศาล นาคพิพัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ และอาจารย์รัตติ เบญจางคประเสริฐ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการร่วม ผู้ซึ่งให้ความรู้ คำแนะนำ และให้คำปรึกษาในระหว่างการดำเนินโครงการจนทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ และขอขอบคุณอาจารย์และเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ขอขอบคุณ บริษัท บางกอกโซลาร์ จำกัด และบริษัท บางกอกเคเบิ้ล จำกัด จ. ฉะเชิงเทรา และที่ ๆ ที่คอยช่วยเหลือ ให้ความร่วมมือและให้ข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ในโครงการครั้งนี้ และขอขอบคุณ คุณอริวัตร จิรจรรยาเวช วิศวกร/ผู้ตรวจประเมิน ฝ่ายธุรกิจและสิ่งแวดล้อม สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย ที่ให้ความรู้และความเข้าใจในการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร. อัมภรศิริรัตน์ มุ่งเจริญ หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ผู้ให้คำแนะนำ และขอขอบคุณคุณศุภกานดา วรพันธ์บัณฑิต นักศึกษานิพนธ์เอก ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และคุณสุรศักดิ์ วิทย์ศลาพงษ์ นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่คอยให้คำแนะนำและปรึกษาในการดำเนินโครงการนี้ด้วยโปรแกรม SimaPro 5.1

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อและคุณแม่ที่คอยให้กำลังใจและคำปรึกษามาโดยตลอด

นางสาวดลฤทัย ดันติวารภรณ์

นางสาววาสนีย์ วงศ์อารักษ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	V
สารบัญรูป	VI
คำอธิบายลักษณะและคำย่อ	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
บทที่ 3 การดำเนินโครงการ	32
บทที่ 4 การประเมินผล	37
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผลการดำเนินโครงการ	46
บรรณานุกรม	48
ภาคผนวก ก	50



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ลักษณะโดยทั่วไปของเครื่องมือทางสิ่งแวดล้อมแต่ละประเภท	5
2.2	รูปแบบของการประยุกต์ใช้งาน LCA	6
2.3	โปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับการศึกษา LCA ที่นิยมในปัจจุบัน	10
2.4	ความเสียหายด้าน Human Health (สุขภาพมนุษย์) โดยสารก่อมะเร็ง.....	17
2.5	ความเสียหายด้าน Human Health (สุขภาพมนุษย์) โดยการหายใจจากอินทรีย์สาร.....	18
2.6	ความเสียหายด้าน Human Health (สุขภาพมนุษย์) โดยการหายใจจากอนินทรีย์สาร.....	19
2.7	ความเสียหายด้าน Human Health (สุขภาพมนุษย์) โดยการแผ่รังสี.....	19
2.8	ความเสียหายด้าน Human Health (สุขภาพมนุษย์) โดยภาวะโลกร้อน.....	20
2.9	ความเสียหายด้าน Ecosystem (ระบบนิเวศวิทยา) โดยภาวะความเป็นพิษ.....	20
2.10	แสดงความสัมพันธ์ของกลุ่มเป้าหมายที่ถูกทำลาย ประเภทของผลกระทบ และสารที่เป็น ปัจจัยของผลกระทบ	21
2.11	แสดงค่า Normalization และ Weighting สำหรับแต่ละกลุ่มเป้าหมายหรือลักษณะการ ทำลาย.....	23
2.12	ค่า GWP: Global warming potential ในเวลาต่างๆ กัน	23
2.13	ค่า ER_{1990} ของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมต่างๆ	24
3.1	ที่มาของข้อมูลในแต่ละขั้นตอน	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 กรอบการดำเนินงาน LCA จากอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040	12
2.2 แผนผังกระบวนการที่มีข้อมูลเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม	14
2.3 แผนภาพการประเมินค่าโดยวิธี EcoIndicator 99	22
2.4 แสดงการผลิตไฟฟ้าโดยเซลล์แสงอาทิตย์	28
2.5 ลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดต่างๆ	28
2.6 กระบวนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟิออสซิลิคอนโดยทั่วไป.....	29
2.7 แสดงอุปกรณ์อื่นๆ ที่ใช้ร่วมกับเซลล์แสงอาทิตย์.....	30
3.1 ขอบเขตของระบบที่นำมาใช้ในการประเมิน.....	35
4.1 การสร้างโปรเจกต์ใหม่ในโปรแกรม SimaPro5.1	37
4.2 ส่วนประกอบของโปรแกรม SimaPro 5.1	38
4.3 แสดงการเลือกวิธีการที่ใช้ในการประเมินผลของโปรแกรม SimaPro5.1	39
4.4 การสร้างหมวดหมู่ (Category)	40
4.5 การสร้างข้อมูลสารขาเข้าและสารขาออก	41
4.6 ผลกระทบในขั้นเตรียมวัตถุดิบของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ศึกษา (วิธี EDIP)	42
4.7 ผลกระทบในขั้นตอนการผลิตของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ศึกษา (วิธี EDIP)	43
4.8 ผลกระทบในขั้นการขนส่งของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ศึกษา (วิธี EDIP)	43
4.9 ผลกระทบในขั้นการใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ศึกษา (วิธี EDIP)	44
4.10 ผลกระทบในขั้นการกำจัดทิ้งของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ศึกษา (วิธี EDIP)	44
4.11 ผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ศึกษา (วิธี EDIP)	45
ก.1 แสดงการกรอกข้อมูลกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในประเทศไทยโดยรวม	53

คำอธิบายลักษณะและคำย่อ

สวทช.	สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ
AC	Alternative Current; ไฟฟ้ากระแสสลับ
CO	Carbonmonoxide
DALY	Disability Adjusted Life Years
DC	Direct current; ไฟฟ้ากระแสตรง
EA	Environmental Audit; การตรวจประเมินด้านสิ่งแวดล้อม
EIA	Environmental Impact Assessment; การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม
EVA	Ethyl Vinyl Acetate
HCFC	Hydro ChloroFluoro Carbon
ISO	International Organization for Standardization; องค์การระหว่างประเทศว่าด้วยการมาตรฐาน
ITO	Indium Tin Oxide
LCA	Life Cycle Assessment; การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์
LCI	Life Cycle Inventory analysis, การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม
LCIA	Life Cycle Impact Assessment; การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม
NGOs	Non-Government Organizations; องค์กรเอกชน
NH ₃	Ammonia
NO _x	Nitrogen Oxide
PDF	Potentially Disappeared Fraction
Plasma CVD	Plasma Chemical Vapor Deposition
RA	Risk assessment; การประเมินความเสี่ยง
SETAC	Society of Environment Toxicity And Chemistry; สมาคมพิษวิทยาด้านสิ่งแวดล้อมและสารเคมี
SFA	Substance Flow Analysis; การวิเคราะห์การไหลของสาร
SO _x	Sulfur Oxide
TA	Technology Assessment; การประเมินเทคโนโลยี
UR	Unit Risk
WEEE	Waste from Electrical Equipment; เศษเหลือทิ้งของผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการ

ในอดีต ขั้นตอนการออกแบบผลิตภัณฑ์ใหม่หรือกระบวนการผลิตใหม่ ผู้ผลิตมักคำนึงถึงเฉพาะประสิทธิภาพในช่วงการผลิตเท่านั้น ทำให้ขาดการพิจารณาในส่วนสำคัญอื่นๆ เช่น การเลือกใช้วัตถุดิบที่เหมาะสม ไม่เป็นพิษ การเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ การขนส่งที่สะดวก ประหยัด การใช้งานตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ การหมุนเวียนนำกลับมาใช้ใหม่ และการจัดการกับกากของเสียที่เกิดขึ้น เป็นต้น การละเลยต่อปัจจัยดังกล่าว ซึ่งรวมถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ทำให้สิ้นเปลืองวัตถุดิบ น้ำ และทรัพยากรอื่นๆ ขาดประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน ส่งผลให้ต้นทุนสำหรับการผลิตสูง เกิดของเสียขึ้นมาก ทั้งในช่วงการผลิตวัตถุดิบ การผลิตผลิตภัณฑ์ การขนส่ง และการนำไปใช้งาน มีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของพนักงาน ผู้ผลิต ผู้ใช้ผลิตภัณฑ์ ตลอดจนประชาชนทั่วไป และโอกาสในการนำผลิตภัณฑ์ที่หมดอายุการใช้งานแล้วกลับมาหมุนเวียนใช้ประโยชน์มีน้อย

การออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco Design) และนโยบายการป้องกันการเกิดมลภาวะ เป็นกลยุทธ์ที่มีประสิทธิภาพในการลดผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อม ประเทศต่างๆ ทั่วโลกได้นำกลยุทธ์ดังกล่าวไปใช้ในการจัดการสิ่งแวดล้อมอย่างแพร่หลายโดยเฉพาะกับภาคการผลิตอย่างอุตสาหกรรมต่างๆ ดังประเทศในสหภาพยุโรป คณะกรรมาธิการยุโรป (European Union Commission) ได้เห็นชอบในร่าง "กฎระเบียบเกี่ยวกับเศษเหลือทิ้งของผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์" (Directive on Waste from Electrical and Electronic Equipment - WEEE) เมื่อวันที่ 13 มิถุนายน พ.ศ. 2543 โดยเริ่มมีผลบังคับใช้ในปี พ.ศ. 2547 ซึ่งมีการใช้ระเบียบมาตรฐานการออกแบบสินค้าที่ใช้พลังงาน ซึ่งว่าด้วยการส่งเสริมให้ผู้ผลิตออกแบบสินค้าที่ใช้พลังงานประเภทเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์ เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแบบครบวงจร เช่น หลีกเลี่ยงการนำสารพิษ อาทิ สารปรอท มาใช้ในผลิตภัณฑ์ ควบคุมการจัดการของเสียที่เกิดจากการใช้หรือทิ้งเครื่องใช้ไฟฟ้าหรืออุปกรณ์ โดยมีการกำหนดปริมาณวัสดุที่จะต้องนำกลับมาใช้ใหม่ได้ เป็นต้น สำหรับประเทศไทย สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) ได้ริเริ่ม "โครงการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีด้านการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ" ซึ่งใช้หลักการของการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (EcoDesign หรือ Green Design) ปรับเปลี่ยนการออกแบบผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิต ทำให้ใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ ลดภาระด้านสิ่งแวดล้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลดต้นทุนการผลิต และต้นทุนการบำบัดของเสียที่ปลายเหตุ โดยมีการศึกษาและประยุกต์ใช้หลักการของการประเมินวัฏจักรชีวิตเพื่อประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น

กระบวนการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment) เป็นกระบวนการประเมินค่าผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์หรือหน้าที่ของผลิตภัณฑ์ตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์นั้นๆ โดยจะช่วยให้ผู้บริโภครูปร่างว่าการผลิตผลิตภัณฑ์ใดๆ หนึ่งขึ้น วัสดุวัตถุดิบและทรัพยากรต่างๆ มากน้อยเพียงใด ซึ่งสามารถใช้เป็นข้อมูลในการตัดสินใจเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ต่างๆ และยังช่วยในการวิเคราะห์ วิจัย และพัฒนาผลิตภัณฑ์ของผู้ผลิตอีกด้วย

เซลล์แสงอาทิตย์เป็นอุปกรณ์ที่ได้รับความนิยมในการนำมาใช้ตามบ้านเรือน ที่อยู่อาศัย และมีการใช้อยู่บ้างตามโรงงานอุตสาหกรรม เพื่อช่วยในการผลิตกระแสไฟฟ้านอกเหนือจากไฟฟ้าที่ได้จากโรงไฟฟ้า ทำให้เกิดอุตสาหกรรมการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ เพื่อตอบสนองความต้องการที่มีมากขึ้น แต่ในกระบวนการผลิตยังมีของเสียซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอยู่ ข้อมูลจากการประเมินวัฏจักรชีวิตของเซลล์แสงอาทิตย์จะช่วยให้ทราบถึงปัญหาที่เกิดขึ้น เช่น พลังงานที่ใช้ในการผลิตมากเกินไปหรือไม่ วัสดุวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตก่อให้เกิดผลกระทบต่อคนและสิ่งแวดล้อมหรือไม่ เป็นต้น ทำให้เกิดการพัฒนาและปรับปรุงผลิตภัณฑ์รวมถึงกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. ศึกษาและประยุกต์ใช้หลักการของการประเมินวัฏจักรชีวิตเพื่อประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม
2. จัดทำบัญชีรายการข้อมูล เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบและพัฒนาปรับปรุงผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมต่อไป

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

ประเมินวัฏจักรชีวิตของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิคอนที่ผลิตได้ ณ บริษัท บางกอกโซลาร์ จำกัด จ. ฉะเชิงเทรา โดยใช้กรอบการดำเนินงานของ ISO 14040 แบ่งขั้นตอนตลอดวัฏจักรชีวิตออกเป็น 5 ช่วง คือ

- 1) การเตรียมวัตถุดิบ
- 2) กระบวนการผลิต
- 3) การใช้งาน
- 4) การขนส่ง
- 5) การกำจัดทิ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

1. ศึกษารวบรวมทฤษฎีและข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการประเมินวัฏจักรชีวิตของเซลล์แสงอาทิตย์
 - 1.1 ศึกษาทฤษฎีของการประเมินวัฏจักรชีวิต
 - 1.2 ศึกษาตัวอย่างการประเมินวัฏจักรชีวิตจากวารสารและบทความทางวิชาการต่างๆ
 - 1.3 ศึกษาการใช้โปรแกรมที่ใช้วิเคราะห์และประเมินผลกระทบต่างๆ ในด้านสิ่งแวดล้อม ในที่นี้คือโปรแกรม SimaPro 5.1
 - 1.4 ศึกษากระบวนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟิซิลิกอน
2. เลือกวิธีการในการศึกษาและกำหนดขอบเขตของการศึกษา
3. ดำเนินการศึกษาและเก็บข้อมูลตามกรอบการดำเนินงานที่วางไว้
4. รวบรวมข้อมูลแล้วนำมาประมวลผลด้วยโปรแกรม SimaPro 5.1
5. วิเคราะห์ผลที่ได้
6. สรุปผลของโครงการ ข้อเสนอแนะและจัดทำรายงาน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถนำผลการวิเคราะห์และการประเมินมาใช้ในการปรับปรุงกระบวนการผลิต ให้เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมยิ่งขึ้น โดยอาศัยหลักการของเทคโนโลยีสะอาด (Cleaner Technology) และการออกแบบเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco Design) เข้ามาช่วยในการปรับปรุงต่อไป

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA)

ความหมายของการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA) คือ กระบวนการวิเคราะห์และประเมินค่าผลกระทบของผลิตภัณฑ์ที่มีต่อสิ่งแวดล้อมตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่การสกัดหรือการได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การขนส่งและการแจกจ่าย การใช้งานผลิตภัณฑ์ การแปรรูป และการจัดการกับเศษซากของผลิตภัณฑ์หลังจากการใช้งาน ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าพิจารณาผลิตภัณฑ์ตั้งแต่เกิดจนตาย (Cradle to Grave) โดยมีการระบุถึงปริมาณพลังงานและวัตถุดิบที่ใช้ รวมถึงของเสียที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม เพื่อที่จะหาวิธีการในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด สมาคมพิษวิทยาด้านสิ่งแวดล้อมและสารเคมี (Society of Environment Toxicology And Chemical: SETAC) ได้ให้นิยามของ LCA ว่า "เป็นกระบวนการที่ประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม โดยจะพิจารณาครอบคลุมถึงกระบวนการผลิต และกิจกรรมต่างๆ ที่เกี่ยวเนื่องกันในรูปของวัตถุดิบและพลังงาน ซึ่งการประเมินนี้จะทำตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์อย่างละเอียด เช่น กระบวนการผลิต การบรรจุ การคัดแยก การบำรุงรักษา และการแปรรูปใช้ใหม่ รวมถึงกิจกรรมอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องทั้งหมด โดยยึดหลักของระบบนิเวศ สุขอนามัย และการนำทรัพยากรมาใช้เป็นหลัก" ส่วนองค์การระหว่างประเทศว่าด้วยการมาตรฐาน (International Organization for Standardization: ISO) ได้นิยามความหมายของ LCA ไว้ในอนุกรมมาตรฐาน ISO14040 ว่า "เป็นการเก็บรวบรวมและการประเมินค่าของสารขาเข้าและสารขาออก รวมถึงผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่มีโอกาสเกิดขึ้นในระบบผลิตภัณฑ์ตลอดวัฏจักรชีวิต"

หลักการและการประยุกต์ใช้ LCA

การประเมินวัฏจักรชีวิตนั้นจะแตกต่างจากเครื่องมือวิเคราะห์ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมอื่นๆ ที่มีอยู่ คือ LCA เป็นกระบวนการประเมินค่าผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ (Product) หรือหน้าที่ของผลิตภัณฑ์ (function) ตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์นั้น โดยเน้นผลเชิงปริมาณชัดเจน จึงทำให้การศึกษา LCA มีความซับซ้อนมากกว่าเครื่องมือทางสิ่งแวดล้อมอื่นๆ เพราะต้องทำการวิเคราะห์ตั้งแต่แหล่งกำเนิดของทรัพยากรที่นำมาใช้ ไปจนถึงขั้นตอนการทำลายซากผลิตภัณฑ์ โดยพิจารณาถึงผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในทุกประเด็นที่เกิดขึ้น และให้ความสำคัญทั้งในเรื่องของทรัพยากรที่สิ้นเปลืองไปและสารอันตรายที่ถูกปล่อยออกมา LCA จะเป็นการ

มองผลกระทบในภาพรวมที่จะก่อให้เกิดปัญหาต่อโลก เช่น การทำให้โลกร้อนขึ้น มากกว่าที่จะมองเฉพาะสารพิษที่ปล่อยออกมา

LCA เป็นเพียงเครื่องมือหนึ่งซึ่งช่วยสนับสนุนการตัดสินใจทางด้านสิ่งแวดล้อม ไม่ได้แทนที่เครื่องมือวิเคราะห์ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมชนิดอื่นๆ ซึ่งถูกกำหนดขึ้นเพื่อวัตถุประสงค์เฉพาะอย่าง เช่น การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม (Environmental Impact Assessment) ที่ใช้สำหรับวิเคราะห์การร่างหรือต่อเติมโรงงานหรือสาธารณูปโภคชนิดใหม่ การประเมินความเสี่ยง (Risk Assessment) ซึ่งเป็นการประเมินผลกระทบของสารมลพิษต่างๆ จากการดำเนินการติดตั้งอุปกรณ์เฉพาะแห่ง อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบวัตถุประสงค์และคุณลักษณะของเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมแต่ละชนิดแล้วจะพบว่าการทำ LCA เป็นการพิจารณาตลอดทั้งวัฏจักรชีวิตและไม่มีข้อจำกัดด้านภูมิศาสตร์และระยะเวลาอีกด้วย (ตารางที่ 2.1)

ตารางที่ 2.1 ลักษณะโดยทั่วไปของเครื่องมือทางสิ่งแวดล้อมแต่ละประเภท

เครื่องมือ	ขอบเขตการใช้งาน	กระบวนการทางเศรษฐศาสตร์	ข้อจำกัดทางภูมิศาสตร์	ข้อจำกัดด้านเวลา
การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA)	ผลิตภัณฑ์/ หน้าที่ของผลิตภัณฑ์	Full process chain	ไม่มีข้อจำกัด	ไม่มีข้อจำกัด
การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม (Environmental Impact Assessment: EIA)	โรงงาน/ ระบบสาธารณูปโภค	Non chain process	เฉพาะตำแหน่งที่ตั้ง	ระบุแน่นอน
การประเมินความเสี่ยง (Risk Assessment: RA)	โรงงาน	Non chain process	เฉพาะตำแหน่งที่ตั้ง	ระบุแน่นอน
การวิเคราะห์การไหลของสาร (Substance Flow Analysis: SFA)	สาร (Substance)	All process in region	เฉพาะพื้นที่	ขึ้นกับผู้ใช้กำหนด
การประเมินเทคโนโลยี (Technology Assessment: TA)	เทคโนโลยี	Partial chain/ Full chain	ไม่มีข้อจำกัด	ไม่มีข้อจำกัด
การตรวจประเมินด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental Audit: EA)	บริษัท	Non chain/ partial chain	เฉพาะสถานที่ตั้ง/ บางครั้งไม่มีข้อจำกัด	ขึ้นกับผู้ใช้กำหนด

ที่มา : "Life Cycle Assessment: What it is and How to do it", UNEP 1996

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประยุกต์ใช้ LCA

LCA ทำให้ทราบถึงข้อมูลผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถนำมาพิจารณาประกอบกับข้อมูลในประเด็นอื่นๆ เช่น ต้นทุน ความสะดวกสบาย และความปลอดภัยของผู้บริโภค เพื่อนำไปสู่การตัดสินใจหรือการกำหนดแนวทางดำเนินการด้านสิ่งแวดล้อมในอนาคต เช่น การพัฒนาและปรับปรุงผลิตภัณฑ์ การปรับปรุงนโยบายของภาครัฐที่เกี่ยวข้องกับผลกระทบต่อผู้ผลิตและผู้บริโภค และการกระตุ้นให้เกิดจิตสำนึกด้านสิ่งแวดล้อม เป็นต้น

อนึ่ง การประเมินวัฏจักรชีวิตนั้น กล่าวถึง ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่มีต่อระบบผลิตภัณฑ์ภายใต้การศึกษาในสาขาที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพ นิเวศวิทยา และการหมดไปของทรัพยากร แต่จะไม่ได้กล่าวถึงผลทางเศรษฐกิจและสังคม LCA สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับกิจกรรมหรืองานวิจัยได้อย่างหลากหลาย โดยกลุ่มของผู้นำไปใช้งานอาจจำแนกได้เป็น 4 กลุ่มหลัก ได้แก่ ภาคอุตสาหกรรม/บริษัทเอกชน ภาครัฐ องค์กรเอกชน (NGOs) และผู้บริโภค โดยมีรูปแบบของการนำไปใช้งานอยู่ในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 รูปแบบของการประยุกต์ใช้งาน LCA

กลุ่มผู้นำไปใช้งาน	รูปแบบของการประยุกต์ใช้งาน
ภาคอุตสาหกรรม/ บริษัทเอกชน	<ul style="list-style-type: none"> ใช้สื่อสารให้ทราบถึงข้อมูลด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ ใช้ต่อรองกับผู้จัดหาวัตถุดิบ (Supplier) ให้ผลิตผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น พัฒนากลยุทธ์ด้านการตลาด กลยุทธ์ด้านธุรกิจ และแผนการลงทุน พัฒนากลยุทธ์ด้านนโยบาย การจัดทำฉลากสิ่งแวดล้อม (ฉลากเขียว) ของผลิตภัณฑ์ เพื่อเป็นข้อมูลให้กับผู้บริโภคใช้ตัดสินใจเลือกซื้อ ออกแบบ และ ปรับปรุงกระบวนการผลิตและผลิตภัณฑ์ให้เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเพิ่มขึ้น พัฒนานโยบายของผลิตภัณฑ์ว่าต้องการให้ไปในทิศทางใด โดยการเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากผลิตภัณฑ์ชนิดต่างๆ ด้วยวิธี LCA
ภาครัฐ	<ul style="list-style-type: none"> เป็นเกณฑ์ในการจัดทำข้อกำหนดของฉลากสิ่งแวดล้อม ใช้ประกอบการพิจารณาเพื่อสนับสนุนเงินทุน หรือการจัดทำโครงสร้างภาษีอากร พัฒนานโยบายทั่วไปของภาครัฐ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

องค์กรเอกชน	<ul style="list-style-type: none"> • เป็นข้อมูลเพื่อเผยแพร่ต่อผู้บริโภค • เป็นข้อมูลสนับสนุนสำหรับการประชุม/สัมมนาในเวทีสาธารณะ • ใช้ข้อมูลเพื่อกดดันภาคเอกชนและรัฐบาลในการพัฒนาสิ่งแวดล้อม
ผู้บริโภค	<ul style="list-style-type: none"> • ใช้ข้อมูลเพื่อประกอบการตัดสินใจเลือกซื้อผลิตภัณฑ์

เหตุผลในการใช้ LCA

การที่ได้นำ LCA มาใช้เป็นเครื่องมือในการจัดการสิ่งแวดล้อมแบบหนึ่ง เนื่องจาก LCA เป็นวิธีประเมินและวิเคราะห์เชิงวิทยาศาสตร์และเชิงปริมาณที่ใช้ผลิตภัณฑ์เป็นศูนย์กลางและมองในภาพรวม ดังนี้

1) LCA ตั้งใจจากผลิตภัณฑ์

กิจกรรมด้านเศรษฐกิจทั้งหมดขึ้นอยู่กับการใช้และการบริโภคผลิตภัณฑ์และบริการในภาคอุตสาหกรรม ผลิตภัณฑ์จึงเป็นสิ่งที่มียุทธศาสตร์ต่อการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมทางอุตสาหกรรม ยิ่งไปกว่านั้นคนส่วนใหญ่จะกำหนดนโยบายต่างๆ ที่เกี่ยวกับการผลิตซึ่งจะมีความสำคัญต่อเศรษฐกิจมากกว่าการพัฒนาทางด้านสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน LCA จะเป็นเครื่องมือที่มุ่งเน้นไปที่ผลิตภัณฑ์และครอบคลุมไปยังส่วนที่เครื่องมืออื่นๆ (เช่น การประเมินความเสี่ยง การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม) ไม่สามารถทำได้ จึงเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลกระทบของผลิตภัณฑ์ต่อสิ่งแวดล้อมซึ่งจะช่วยส่งเสริมให้เกิดการพัฒนาอย่างยั่งยืนของประเทศได้

2) LCA เป็นการมองภาพโดยรวม

LCA เป็นเครื่องมือสำหรับวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมซึ่งรวบรวมปัญหาทั้งหมดที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์หรือการใช้งาน ซึ่งการมองภาพรวมนี้จะหลีกเลี่ยงปัญหาที่เกิดจากเราแก้ไขปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อมในที่หนึ่งแต่กลับไปสร้างปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อมในอีกที่หนึ่งแทน (อาทิเช่น การพยายามที่จะลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นโดยการออกแบบผลิตภัณฑ์ให้ง่ายต่อการแยกส่วนเพื่อนำไปรีไซเคิล (recycle) แต่อาจจะมีผลกระทบต่อกระบวนการผลิต/เตรียมวัตถุดิบ) ซึ่งปัญหาเหล่านี้ต้องนำมาคิดรวมด้วย เนื่องจากจะเป็นพื้นฐานในการวางแผนระยะยาว ปัจจุบันมีการแก้ไขและการหลีกเลี่ยงการย้ายที่ของปัญหาที่เกิดขึ้น โดยใช้เทคนิคการผลิตที่สะอาด (Cleaner production) ซึ่งจะพิจารณาถึงความเหมาะสมในการรีไซเคิล (recycle) การเลือกวัตถุดิบอย่างระมัดระวัง รวมทั้งจำกัดปริมาณของวัตถุดิบที่ใช้ อย่างไรก็ตามก็ยังมีเครื่องมืออื่นๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์อีก รวมทั้ง LCA ที่สามารถป้องกันการย้ายที่ของปัญหาใน 3 รูปแบบ ดังนี้

2.1) ปัญหาที่ย้ายจากชั้นหนึ่งไปสู่อีกชั้นหนึ่งในวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ เช่น การใช้รถที่ขับเคลื่อนด้วยพลังงานไฟฟ้าแทนรถที่ใช้น้ำมันดีเซลและเบนซินเพื่อช่วยลดการแพร่กระจายมลพิษในตัวเมืองแต่ทำให้โรงไฟฟ้าต้องผลิตกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้น และอาจทำให้การใช้พลังงานใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพรวมเพิ่มขึ้น LCA สามารถนำมาใช้เพื่อพิสูจน์ว่าการเปลี่ยนมาใช้รถที่ขับเคลื่อนด้วยพลังงานไฟฟ้าจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าหรือไม่

2.2) การเปลี่ยนจากปัญหาประเภทหนึ่งไปเป็นปัญหาอีกประเภทหนึ่ง เช่น การใช้เทคโนโลยีที่ต่างกัน โดยทั่วไปจะใช้วัตถุดิบที่แตกต่างและก่อให้เกิดมลพิษที่ต่างกันตัวอย่างเช่น การเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกรอบหน้าต่างอลูมิเนียมกับกรอบหน้าต่างพีวีซี พบว่า ในการผลิตอลูมิเนียมจะทำให้เกิดมลพิษจากกรดของซัลเฟอร์และไนโตรเจนออกไซด์ ส่วนการผลิตพีวีซีนั้นก่อให้เกิดไอพิษของไดคลอโรอีเทน (Dichloroethane) LCA สามารถนำมาใช้เพื่อจะตัดสินใจว่าทางเลือกใดส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่ากัน

2.3) การย้ายปัญหาจากสถานที่หนึ่งไปเกิดปัญหากับอีกสถานที่หนึ่ง เช่น การขนย้ายของเสียที่เป็นสารเคมีจากประเทศหนึ่งไปยังประเทศอื่นๆ ซึ่ง การศึกษา LCA จะสามารถพิสูจน์ได้ว่าภายใต้เงื่อนไขเรื่องการเก็บของเสียที่เป็นสารเคมีแบบใดจะมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด

อย่างไรก็ตาม LCA ไม่สามารถแสดงให้เห็นการย้ายที่ของปัญหาจากผลิตภัณฑ์หนึ่งไปสู่อีกผลิตภัณฑ์หนึ่งได้ เช่นในกรณีที่วัตถุดิบที่ปนเปื้อนถูกนำไปรีไซเคิล (recycle) เพื่อผลิตผลิตภัณฑ์ชนิดอื่น ตัวอย่างเช่น ไม้เก่าที่เกิดจากกระบวนการทำความสะอาดก๊าซเสียจากเตาเผาที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงหรือเตาเผาขยะอุตสาหกรรมสูงจะประกอบด้วยโลหะหนักที่มีความเป็นพิษในปริมาณสูง การนำไม้เก่านี้มาเป็นสารเติมแต่งในการผลิตซีเมนต์ (cement) จัดเป็นวิธีการหนึ่งที่มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ แต่โลหะหนักต่างๆ จะไม่ถูกผลมอยู่ในเนื้อซีเมนต์ (cement) กรณีดังกล่าวเป็นอุปสรรคต่อการศึกษา LCA บางเรื่องในปัจจุบัน เช่น ไม่สามารถศึกษา LCA ของแบตเตอรี่ (battery) แบบนิเกิลแคดเมียมได้ครอบคลุมถึงการสกัดแยกของโลหะหนัก หรือการศึกษาเรื่องของการนำกลับมาใช้ใหม่ของวัสดุก่อสร้างอาคารกับการสร้างถนน จึงควรใช้การวิเคราะห์ทางสิ่งแวดล้อมประเภทอื่นๆ เช่นการวิเคราะห์ผังการไหลของสารเข้าสารออก มากกว่าการวิเคราะห์ด้วย LCA

3) LCA เป็นศาสตร์และให้ข้อมูลเชิงปริมาณ

การศึกษา LCA ตั้งอยู่บนพื้นฐานของวิทยาศาสตร์และให้ข้อมูลเชิงปริมาณ ซึ่งจะเป็นเครื่องมือที่ดีที่สุดในการตัดสินใจทางด้านสิ่งแวดล้อม เนื่องจากสามารถเพิ่มความน่าเชื่อถือในผลการวิเคราะห์มากกว่าการใช้ความรู้สึกตัดสินใจในเรื่องที่ซับซ้อน และการมีผลวินิจฉัยที่ไม่ชัดเจน จึงมักเป็นประเด็นสำคัญที่นำมาเป็นหัวข้อในการโต้เถียงกันบ่อยๆ และทำให้เกิดปัญหาหระหว่างภาคภาคีต่างๆ LCA จึงเป็นเครื่องมือที่มีความเป็นกลางในการป้อนข้อมูลเพื่อใช้ในการตัดสินใจระหว่างผู้ที่มีส่วนได้ส่วนเสียเหล่านั้น

วิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์

สิ่งที่สำคัญในการทำ LCA ได้แก่ ระยะเวลา ทักษะ และเงินทุน นอกจากนี้ยังต้องมีวิธีการในการศึกษา LCA การจัดการกับปริมาณข้อมูลจำนวนมาก และโปรแกรมสำเร็จรูป (Software) ที่จะใช้รวบรวมและจัดการข้อมูล

1. วิธีการ

วิธีการทำ LCA แม้ว่าจะมีหลากหลาย แต่ในปัจจุบันวิธีการหลักๆ ในการทำ LCA เริ่มไปสู่แนวทางเดียวกัน และเริ่มนิยมใช้วิธีการและขั้นตอนการศึกษาตามมาตรฐาน ISO 14040 มากขึ้น ในอนุกรมมาตรฐานการจัดการสิ่งแวดล้อม ISO14000 มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับ LCA มีทั้งหมด 7 ฉบับ ดังนี้

- ISO 14040 – Life cycle assessment – Principles and framework เป็นมาตรฐานที่กล่าวถึงหลักการ นิยามศัพท์ และกรอบการดำเนินงานการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์
- ISO 14041 – Life cycle assessment – Goal and scope definition and Life Cycle Inventory analysis เป็นมาตรฐานที่กล่าวถึงการกำหนดวัตถุประสงค์ขอบเขตการวิเคราะห์ และจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ (LCI)
- ISO 14042 - Life cycle assessment – Life Cycle Impact Assessment (LCIA) เป็นมาตรฐานที่กล่าวถึงการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์
- ISO 14043 - Life Cycle Assessment – Life Cycle Interpretation เป็นมาตรฐานที่กล่าวถึงการแปลผลข้อมูลที่ได้จากการทำ LCI และ LCIA
- ISO/TR 14047 - Life Cycle Assessment – Illustrative examples on how to apply ISO 14042 – Life cycle impact assessment เป็นรายงานวิชาการแสดงตัวอย่างของการประยุกต์ใช้อนุกรมมาตรฐาน ISO 14042 สำหรับวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์
- ISO/TR 14048 - Life Cycle Assessment – LCA Data Documentation Format เป็นรายงานวิชาการแสดงตัวอย่างรูปแบบเอกสารของข้อมูลด้าน LCA
- ISO/TR 14049 - Life Cycle Assessment – Examples of application of ISO 14041 to goal and scope definition and inventory analysis เป็นรายงานวิชาการแสดงตัวอย่างของการประยุกต์ใช้อนุกรมมาตรฐาน ISO 14041 สำหรับจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์.

2. ข้อมูลที่ต้องการ

การทำ LCA จำเป็นต้องใช้ข้อมูลจำนวนมาก ในผลิตภัณฑ์ชนิดหนึ่งอาจต้องมีการพิจารณากระบวนการต่างๆ เป็นร้อยกระบวนการก็ได้ และในแต่ละกระบวนการอาจมีข้อมูลที่ต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เก็บมากมาย หรือเป็นร้อยรายการ เช่น ปริมาณการใช้ไฟฟ้า ปริมาณการใช้สารเคมีปริมาณ วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต สาร HCFC ที่ถูกปล่อยสู่บรรยากาศ และของเสียที่เกิดขึ้น ถ้าการทำ LCA เป็นความต้องการของภาคธุรกิจ การที่จะได้มาซึ่งข้อมูลกระบวนการผลิตก็ไม่ใช่ว่าเรื่องยากนัก แต่ในกรณีที่การทำ LCA เป็นความต้องการขององค์กรอื่นๆ ที่ไม่ได้อยู่ในภาคธุรกิจ หรือข้อมูลที่ต้องการ นั้นสัมพันธ์กับบริษัทอื่นๆ ก็จะเป็นการยากมากที่จะได้ซึ่งข้อมูลที่ถูกต้องแม่นยำ ข้อมูลที่ต้องการ อย่างมากซึ่งจะเป็นข้อมูลพื้นฐาน (background data) สำหรับการทำให้ LCA ได้แก่ การผลิตกระแส ไฟฟ้า รูปแบบของการขนส่งที่แตกต่างกัน ผลผลิตของวัตถุดิบแต่ละชนิด อย่างไรก็ตาม ข้อมูลที่มีอยู่อาจเป็นข้อมูลของการผลิตของผลิตภัณฑ์ที่เป็นลักษณะจำเพาะของบริษัทเท่านั้น ซึ่งอาจไม่สามารถเป็นตัวแทนของผลิตภัณฑ์ชนิดดังกล่าวในภาพรวมได้

3. โปรแกรมสำเร็จรูป

เนื่องจากการศึกษา LCA ต้องใช้ข้อมูลและตัวเลขมากมาย จึงอาจต้องใช้โปรแกรม สำเร็จรูปเข้าช่วยในการทำงาน ซึ่งสามารถใช้จัดการกับข้อมูลได้รวดเร็ว สะดวกสบาย และมี คุณภาพมากกว่า เดิมนิยมใช้โปรแกรม Microsoft Excel หรือ Spreadsheets ในการคำนวณ แต่ ในปัจจุบันเริ่มที่จะหันมาใช้โปรแกรมสำเร็จรูปเฉพาะสำหรับ LCA มากขึ้น เนื่องจากสามารถใช้งาน ได้ง่ายกว่าและเสียค่าใช้จ่ายที่ต่ำกว่า นอกจากนี้ยังสามารถใช้ได้กับกระบวนการผลิตที่มี จำนวนขั้นตอนมากๆ และเชื่อมโยงกับฐานข้อมูลด้าน LCA ที่ทำไว้ทั่วโลกได้ ตัวอย่างโปรแกรม สำเร็จรูปที่นิยมใช้สำหรับการศึกษา LCA แสดงในตารางที่ 2-3

ตารางที่ 2.3 โปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับการศึกษา LCA ที่นิยมในปัจจุบัน

โปรแกรม สำเร็จรูป	ผู้ผลิตโปรแกรม	ประเทศ	โปรแกรม สำเร็จรูป	ผู้ผลิตโปรแกรม	ประเทศ
SimaPro 5.1	Pre' Consultants	เนเธอร์แลนด์	Umberto 4.1	Ifu / ifeu	เยอรมนี
GaBi 3.2	IKP Stuttgart	เยอรมนี	EcoPro	EMPA, sinum	สวิตเซอร์แลนด์
TEAM 3.0	Ecobilan	ฝรั่งเศส	Boustead	Boustead	อังกฤษ
LCAiT	Chalmers	สวีเดน	NIRE-LCA	NIRE / AIST	ญี่ปุ่น*
KCL-Eco	KCL	ฟินแลนด์	JEMAI-LCA	JEMAI	ญี่ปุ่น*

* มีเฉพาะภาษาญี่ปุ่นเท่านั้น

กรอบการดำเนินการของ LCA

สำหรับโครงการนี้จะใช้การอ้างอิงเนื้อหาจากอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040-14043 (รูปที่ 2-2) ซึ่งการทำ LCA จะแบ่งเป็นออกเป็น 4 ขั้นตอนหลัก ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต

การศึกษา LCA ต้องทราบว่าอะไรคือสิ่งที่จะทำการศึกษาและจะศึกษาอย่างไร ซึ่งผลของการศึกษาจะถูกนำไปใช้ประโยชน์ได้มากน้อยเพียงใดนั้นขึ้นกับการกำหนดขอบเขตและเป้าหมายของการศึกษานั้นเอง โดย LCA สามารถนำไปใช้กับเป้าหมายหลักๆ ที่มีความแตกต่างกัน ได้แก่

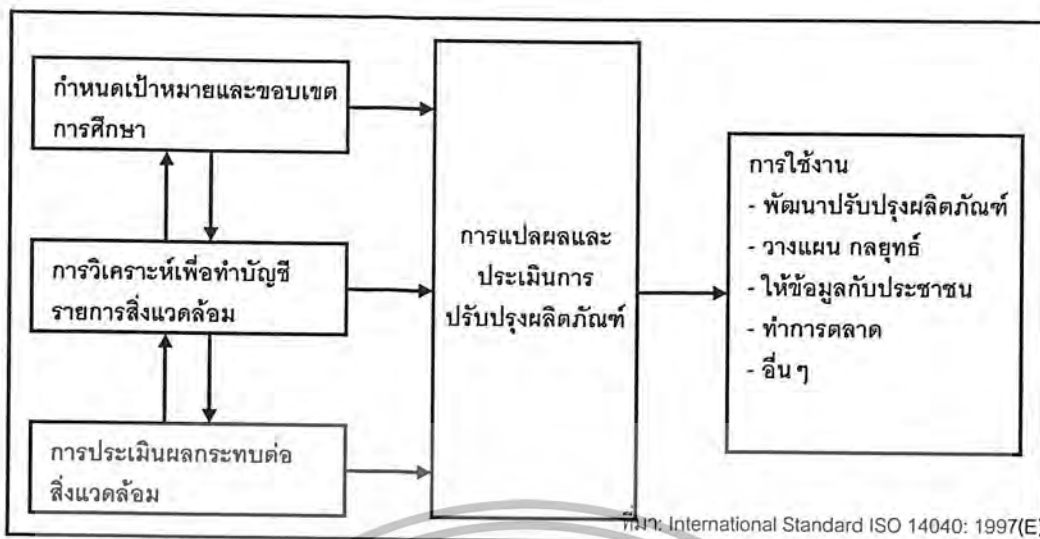
- เพื่อวิเคราะห์จุดแข็งและจุดอ่อนของผลิตภัณฑ์ ซึ่งต้องอาศัยข้อมูลด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านต่างๆ ที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

- เพื่อการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ ซึ่งต้องอาศัยความรู้พื้นฐานของการออกแบบและข้อมูลในเชิงตัวเลขค่อนข้างมาก

- เพื่อให้ในการเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด ซึ่งต้องอาศัยความรู้ของระบบผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องและข้อมูลเพื่อประกอบการตัดสินใจในการเลือกซื้อ

การศึกษา LCA เพื่อเป้าหมายหลักทั้ง 3 ข้อข้างต้นนี้จะทำให้ได้ข้อมูลในเชิงวิทยาศาสตร์ที่สามารถช่วยให้การวิเคราะห์ผลมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น อันจะนำไปสู่การประยุกต์ใช้และพัฒนาในด้านอื่นๆ เช่น การปรับปรุงกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์ การออกแบบผลิตภัณฑ์ใหม่ และการจัดทำขบวนการสิ่งแวดล้อม และจากเป้าหมายของการศึกษาดังกล่าวนี้อาจจะเป็นตัวบ่งบอกระดับของรายละเอียดที่ต้องทำการศึกษา เช่น หากต้องการศึกษาเพื่อจัดทำขบวนการสิ่งแวดล้อมและใช้เผยแพร่ข้อมูลสู่สาธารณะ อาจจำเป็นต้องมีหน่วยงานภายนอกเข้ามาประกันคุณภาพของข้อมูลด้วย หรือหากศึกษาเพื่อการออกแบบหรือปรับปรุงผลิตภัณฑ์ใหม่จะต้องมีขั้นตอนของการประเมินการปรับปรุงเพิ่มเข้ามาด้วยเช่นกัน แต่หากต้องการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ที่คล้ายคลึงกัน และมีการใช้วัสดุที่ใกล้เคียงกัน การศึกษา LCA อาจศึกษาได้โดยการประเมินเปรียบเทียบเฉพาะส่วนที่แตกต่างกันเท่านั้น ซึ่งวิธีการนี้เรียกว่า “การวิเคราะห์ความแตกต่าง (difference analysis)” ขอบเขตการศึกษา LCA จะสัมพันธ์กับความซับซ้อนของเป้าหมายการศึกษา และจะมีผลกระทบโดยตรงต่อระยะเวลาและค่าใช้จ่ายในการศึกษา นั่นคือ หากการศึกษามีเป้าหมายที่ต้องการความน่าเชื่อถือของข้อมูลสูง หรือต้องการเผยแพร่ข้อมูลสู่สาธารณะ ขอบเขตการศึกษา ระยะเวลา และค่าใช้จ่ายในการดำเนินการย่อมสูงตามไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 กรอบการดำเนินงาน LCA จากอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040

ในการเปรียบเทียบทางเลือกของการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ นั้นจะต้องมีหลักเกณฑ์ในการเลือกอย่างเหมาะสม ลักษณะหน้าที่การใช้งาน (Function) จึงเป็นพื้นฐานสำคัญที่สุดที่ต้องมีการกำหนดขึ้นมา ตัวอย่างเช่น บริษัทหนึ่งต้องการเลือกใช้ภาชนะบรรจุเครื่องดื่มระหว่างด้วยกระดาษที่ใช้แล้วทิ้งกับถ้วยเซรามิก ถ้าทำการเปรียบเทียบระหว่างความคงทนในการใช้งานของถ้วยกระดาษที่ใช้แล้วทิ้งกับถ้วยเซรามิกซึ่งมีค่าช่วงชีวิตที่ต่างกันมากย่อมไม่สามารถทำได้ จึงควรเปรียบเทียบหน่วยเป็นต่อการดื่มกาแฟ 1 ถ้วย หรือการบริโภคเครื่องดื่มร้อนใน 1 ปีของพนักงาน แทนที่จะเปรียบเทียบหน้าที่การใช้งานของถ้วยกาแฟจะดีกว่าหรือตัวอย่างเรื่องการขนส่งอาจทำการเปรียบเทียบระหว่างรถยนต์นั่งขนาด 4 คนซึ่งขับเคลื่อนโดยใช้เครื่องยนต์ เทียบกับรถยนต์ที่ขับเคลื่อนโดยใช้พลังงานไฟฟ้า หน่วยการทำงาน (functional unit) ควรเป็นพลังงานที่ใช้ต่อระยะทาง 1,000 กิโลเมตรของถนนส่วนบุคคล

2. การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม

จุดประสงค์ของการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม คือ การเก็บรวบรวม ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการต่างๆ ที่ได้กำหนดไว้ในขั้นตอนการกำหนดเป้าหมายและขอบเขต และคำนวณเพื่อหาจำนวนสารขาเข้า (inputs) และสารขาออก (outputs) ของระบบผลิตภัณฑ์ (product system) ซึ่งสารขาเข้าและขาออกที่ได้เหล่านี้ รวมถึงการใช้ทรัพยากร และการปล่อยสารสู่อากาศ น้ำ และดิน การเก็บข้อมูลควรอยู่ในรูปที่เข้าใจง่ายและควรประกอบด้วยรายละเอียดของกระบวนการผลิต ผังการไหลของกระบวนการ และลักษณะของข้อมูล (เช่น คุณภาพ แหล่งที่มา ข้อจำกัดของข้อมูล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Impact Assessment) จัดเป็นกระบวนการที่ต้องใช้เทคนิคในการจัดการข้อมูลด้านคุณภาพ และปริมาณ เพื่อนำมาจำแนกและประเมินผลของสภาวะทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากองค์ประกอบของบัญชีรายการ การประเมินผลกระทบนั้นมีขั้นตอนย่อย 2 ขั้นตอนที่ต้องดำเนินการ ประกอบด้วย การจำแนกข้อมูลเข้าไปอยู่ในกลุ่มของผลกระทบ (Classification) และการทำ Characterization และขั้นตอนที่เป็นทางเลือกให้ศึกษาเพิ่มเติม เช่น การเทียบหน่วย (Normalization) และการให้น้ำหนักความสำคัญ (Weighting)

4. การแปลผล (Interpretation)

ขั้นการแปลผลเป็นการนำผลการศึกษาที่ได้รับจากการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (LCI) และการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (LCIA) มาเชื่อมโยงเพื่อวิเคราะห์ผลลัพธ์ สรุปผล และจัดเตรียมข้อเสนอแนะที่มาจากผลลัพธ์ของการทำ LCA รวมถึงจัดทำรายงานสรุปการแปลผลการศึกษาให้สามารถเข้าใจได้ง่าย สมบูรณ์ครบถ้วน และมีความสอดคล้องกับเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษาที่กำหนดไว้

การแปลผลการศึกษาประกอบไปด้วยขั้นตอนหลัก ได้แก่ (1) การจำแนกประเด็นที่สำคัญที่มาจากผลลัพธ์ของขั้นการวิเคราะห์ LCI และ LCIA ของการทำ LCA (2) การประเมินค่า (evaluation) เพื่อตรวจสอบความสมบูรณ์ ความอ่อนไหวของผลการศึกษา และความสอดคล้องของข้อมูล และ (3) การจัดทำบทสรุป ข้อเสนอแนะและรายงานผล

2.2 โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro

โปรแกรม SimaPro เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปที่ได้รับการพัฒนาจาก Pre' Consultant ประเทศเนเธอร์แลนด์เพื่อใช้ในการศึกษา LCA ของผลิตภัณฑ์ที่ทำการศึกษา เป็นการนำเอาขั้นตอนต่างๆ ของการทำ LCA มาจัดอย่างเป็นระบบโดยจัดข้อมูลพื้นฐานบางส่วนไว้ในโปรแกรม เพื่อให้ผู้ใช้งานนำไปใช้ได้อย่างเหมาะสม

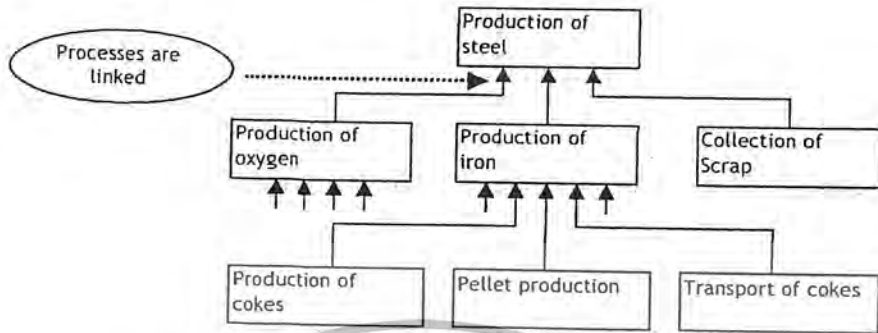
โครงสร้างข้อมูลโปรแกรม SimaPro 5.1 มีอยู่ 2 ชนิด คือ

1. ส่วนของกระบวนการ เป็นการสร้างแผนผังกระบวนการที่มีข้อมูลเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม ตลอดจนข้อมูลทางเศรษฐศาสตร์ของสิ่งที่ใส่เข้าไป และสิ่งที่ได้ออกมาจากกระบวนการ มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.3 โดยประกอบด้วยข้อมูลดังต่อไปนี้

- ข้อมูลทางด้านสิ่งแวดล้อม เช่น สารที่ปล่อยออกมาสู่บรรยากาศ สูดิน สู่แหล่งน้ำ รังสีเสียงรบกวน วัตถุพิษ เป็นต้น
- ข้อมูลทางเศรษฐศาสตร์ เช่น สิ่งที่ได้จากกระบวนการ ในที่นี้คือผลิตภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การจัดทำเอกสารและจัดเก็บข้อมูล เช่น สิ่งที่ใช้แยกจัดเก็บข้อมูล ชื่อ ผู้แต่ง วันที่ สิ่งที่เป็นชื่อลักษณะคุณภาพ ซึ่งจะทำให้เวลาหาข้อมูลทำได้รวดเร็วขึ้น เป็นต้น



รูปที่ 2.2 แผนผังกระบวนการที่มีข้อมูลเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม

2. ส่วนของผลิตภัณฑ์ เป็นสิ่งที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์แต่ไม่เกี่ยวกับข้อมูลทางด้านสิ่งแวดล้อม บอกส่วนประกอบหรือสิ่งที่ประกอบกันขึ้นเป็นผลิตภัณฑ์ซึ่งขั้นของผลิตภัณฑ์หนึ่งๆ จะเชื่อมต่อกับอีกผลิตภัณฑ์หนึ่งๆ เสมอ ประกอบด้วยข้อมูลดังต่อไปนี้

- สิ่งประกอบรวมเข้าด้วยกัน เช่น รายการของวัตถุดิบ การขนส่ง พลังงานที่ใช้
- วัฏจักรชีวิตคือขั้นของผลิตภัณฑ์หลัก ประกอบด้วยกระบวนการที่ใช้ สิ่งที่เป็นของเสียจากกระบวนการ และวัฏจักรชีวิตที่เสริมเพิ่มเข้ามา
- การถอดชิ้นส่วนที่ประกอบออก
- สิ่งที่น่ากลับมาใช้ใหม่ได้ เช่นสิ่งที่ได้จากกระบวนการถอดชิ้นส่วนออกมา

โปรแกรม SimaPro สามารถสร้างแผนผังกระบวนการได้โดยอัตโนมัติซึ่งผู้ใช้โปรแกรมไม่สามารถปรับเปลี่ยนผังนี้ได้โดยตรง ต้องปรับที่ข้อมูลที่ป้อนเข้าไปแทน

2.3 วิธีการประเมินผลกระทบ

2.3.1 วิธี EcoIndicator 99

EcoIndicator 99 พัฒนาโดย Pre' Consultants (1999) EcoIndicator ถูกใช้อย่างแพร่หลาย และมีระบบการให้น้ำหนักที่สนับสนุนข้อมูลสำหรับข้อมูลทางสิ่งแวดล้อมของวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ (Phyllipsen, 2002) นอกจากนี้ยังถูกใช้เพื่อช่วยเหลือกระบวนการการออกแบบในการคัดเลือกวัตถุดิบที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

ขั้นตอนการหาค่าการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของวิธี EcoIndicator 99 มีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- วัตถุประสงค์ พลังงาน และของเสียจะถูกแจกแจงให้อยู่ในประเภทของผลกระทบซึ่งมีทั้งหมด 11 ประเภท
- ผลกระทบทั้ง 11 ประเภท จะถูกจัดกลุ่มออกเป็น 3 กลุ่มตามลักษณะของกลุ่มเป้าหมาย
- การให้น้ำหนักหรือความสำคัญและรวมคะแนนเป็นคะแนนเดียว

กลุ่มเป้าหมาย 3 กลุ่มและประเภทของผลกระทบ 11 ประเภท มีดังนี้

Human Health (สุขภาพมนุษย์) ประกอบด้วย สารก่อมะเร็ง (Carcinogenic), ผลกระทบด้านการหายใจจากอินทรีย์สาร (Respiration of organic substance), ผลกระทบด้านการหายใจจากอนินทรีย์สาร (Respiration of inorganic substance), สารแผ่รังสี (Radiation), ภาวะโลกร้อน (Climate change) และการลดลงของชั้นโอโซน (Ozone depletion)

Ecosystem (ระบบนิเวศวิทยา) ประกอบด้วย ความเป็นพิษ (Ecotoxicity), ภาวะความเป็นกรด/สาหร่ายเติบโตผิดปกติ (Acidification/eutrophication) และการใช้พื้นที่ (Land use)

Resource depletion (การลดลงของทรัพยากร) ประกอบด้วย การใช้สินแร่ (Mineral) และการใช้เชื้อเพลิง (Fossil fuel)

โดยทั้ง 3 กลุ่มเป้าหมายและ 11 ประเภทนี้ จะถูกนำไปวิเคราะห์ใน 3 ขั้นตอน ดังนี้

1. Fate analysis คือ การสร้างความสัมพันธ์ของสารที่ปล่อยออกจากระบบผลิตภัณฑ์ต่อระยะเวลาและพื้นที่ เป็นความเข้มข้นของสารที่ปล่อยออกมามี 5 ส่วน คือ ปล่อยสู่อากาศ ปล่อยสู่ระบบน้ำที่ ปล่อยสู่แหล่งน้ำ ปล่อยสู่ดินในแหล่งอุตสาหกรรม และดินในแหล่งเกษตรกรรม
2. Effect analysis คือ การสร้างความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของสารกับประเภทของผลกระทบต่อน้ำหนักของสารที่ปล่อยออกจากระบบผลิตภัณฑ์
3. Damage analysis คือ การสร้างความสัมพันธ์ของขนาดของผลกระทบต่อน้ำหนักของสารกับระยะเวลาเป็นจำนวนปีที่เจ็บป่วย (DALY/kg)

1. Human Health (สุขภาพมนุษย์) ประเมินโดยใช้หน่วยเป็น DALY = Disability Adjusted Life Years ความเสียหายด้านนี้ ประกอบด้วย

1.1 สารก่อมะเร็ง (Carcinogenic)

การประเมินความเสียหายด้าน Human Health (สุขภาพมนุษย์) จากความเข้มข้นของสารก่อมะเร็งนั้น การประเมินครอบคลุมทั้ง 3 ชั้น คือ

Fate analysis เป็นการแปลงหน่วยความสัมพันธจากสารที่ปล่อยออกมา เช่น สารที่ปล่อยสู่อากาศ น้ำ ดิน อาหารที่บริโภค เป็นต้น ให้อยู่ในรูปของความเข้มข้น โดยการคูณ fate factor กับสารที่ปล่อยออกมา โดยประเมินจากสารที่ปล่อยออกมา 10,000 กิโลกรัมต่อวัน และพื้นที่ของสารที่แพร่กระจายออกไปเป็น 3.6 ล้านตารางกิโลเมตร ตัวอย่างสูตรการแปลงหน่วยเป็นดังต่อไปนี้

$$F, \text{ air to air: } \text{Emission}(\text{mg}\cdot\text{y}^{-1})/\text{m}^2 \times \text{Fate factor}(\text{m}^2\cdot\text{y})/\text{m}^3 = \text{Concentration in air}(\text{mg}/\text{m}^3)$$

$$F, \text{ air to food: } \text{Emission}(\text{mg}\cdot\text{y}^{-1})/\text{m}^2 \times \text{Fate factor}(\text{m}^2\cdot\text{y})/\text{kg}\cdot\text{d} = \text{Dose by food}(\text{mg}/\text{kg}/\text{d})$$

Effect analysis เป็นการแปลงหน่วยความสัมพันธจากความเข้มข้นให้อยู่ในรูปจำนวนสารก่อมะเร็งที่ปล่อยออกมาเป็นกิโลกรัม ตัวคูณจะเป็น unit risk (UR) ตัวอย่างสูตรการคำนวณ effect factor สำหรับสารที่ปล่อยสู่อากาศ

$$\text{Effect} = \text{Unit Risk}(\text{per year}) \times \text{population density}$$

$$E(\text{case}\cdot\mu\text{g}^{-1}\cdot\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{y})) = \text{UR}(\text{case}\cdot\mu\text{g}^{-1}\cdot\text{m}^3)/\text{life time}(70 \text{ year}) \times \text{pop. density}(\text{persons}/\text{m}^2)$$

สำหรับ unit risk ต่อปี ต้องหารด้วย 70 ปี (อายุเฉลี่ยของคน) เพื่อความถูกต้อง

Damage analysis เป็นการสร้างความสัมพันธ์จากขนาดของผลกระทบที่เป็นน้ำหนักของสารให้อยู่ในรูป DALY ต่อกิโลกรัมของสารที่ปล่อยออกมา (DALY = Disability Adjusted Life Years) การประมาณค่านี้จะใช้ข้อมูลของความเจ็บป่วยที่รุนแรง ระยะเวลาของการเจ็บป่วย อัตราการเสียชีวิต และอายุของผู้ที่โดนผลกระทบ เข้ามาเกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ผล

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ตารางที่ 2.4 ความเสียหายด้าน Human Health (สุขภาพมนุษย์) โดยสารก่อมะเร็ง

Exposure to water 10 000 kg-d - Resulting concentrations and human intake													
Substance	CAS-number	Concentration		Dose by		Concentration		Dose by		Concentrations to pathway			
		Drinking water [mg/l]	Drinking water [mg/kg-d]	Food [mg/kg-d]	Air [mg/m ³]	Inhalation [mg/kg-d]	D	F	A	%	%	%	
Arsenic (long term)	7440-38-2	2.28E-03	8.50E-C5	7.15E-04	4.01E-12	8.60E-13	8	92	0				
Arsenic (short term)	7440-38-2	1.85E-03	5.50E-C5	5.72E-04	3.22E-12	6.90E-13	8	92	0				
Benzene	71-43-2	3.71E-05	1.06E-C6	1.81E-05	2.96E-05	6.34E-06	12	18	70				
Bis(2-chloroethyl)ether	542-88-1	3.85E-05	1.10E-C6	1.90E-07	3.59E-06	7.70E-07	53	9	37				
Cadmium (long term)	7440-43-9	2.83E-03	7.50E-C5	2.04E-04	9.60E-12	2.10E-12	27	73	0				
Cadmium (short term)	7440-43-9	2.10E-03	6.00E-C5	1.85E-04	7.93E-12	1.70E-12	27	73	0				
Chromium VI (long term)	7440-47-3	9.45E-05	2.70E-C6	4.42E-05	3.03E-13	6.50E-14	6	94	0				
Chromium VI (short term)	7440-47-3	7.35E-05	2.10E-C6	3.56E-05	2.43E-13	5.20E-14	6	94	0				
Nickel (long term)	7440-02-0	2.73E-03	7.60E-C5	4.72E-04	2.99E-12	6.40E-13	14	68	0				
Nickel refinery dust (long term)	7440-02-0	2.73E-03	7.60E-C5	4.72E-04	2.99E-12	6.40E-13	14	68	0				
Nickel subsulfide (long term)	7440-02-0	2.73E-03	7.60E-C5	4.72E-04	2.99E-12	6.40E-13	14	68	0				
Nickel (short term)	7440-02-0	2.21E-03	6.30E-C5	3.82E-04	2.43E-12	5.20E-13	7	93	0				
Nickel refinery dust (short term)	7440-02-0	2.21E-03	6.30E-C5	3.82E-04	2.43E-12	5.20E-13	7	93	0				
Nickel subsulfide (short term)	7440-02-0	2.21E-03	6.30E-C5	3.82E-04	2.43E-12	5.20E-13	7	93	0				
Vinyl Chloride	75-56-9	3.65E-05	1.10E-C6	1.80E-07	1.07E-05	2.30E-06	31	5	64				
1,2-dibromoethane	106-93-4	4.48E-05	1.28E-C6	1.60E-06	1.98E-06	4.21E-06	3	4	94				
1,3-butadiene	106-99-0	1.56E-04	4.45E-C6	3.51E-06	1.12E-06	2.40E-07	62	35	3				
Acrylonitrile	107-13-1	8.42E-05	2.40E-C6	2.20E-07	1.35E-05	2.90E-06	43	4	53				
Benzofuran	50-32-8	3.25E-05	9.30E-C6	7.40E-07	7.00E-10	1.50E-10	0	100	0				
Benzofluoranthracene	56-95-3	2.52E-05	7.30E-C6	3.80E-07	2.43E-05	5.20E-06	0	100	0				
Dibenz[ah]anthracene	53-70-3	4.55E-05	1.30E-C6	1.50E-07	8.40E-06	1.80E-06	0	100	0				
Diesel soot particles (no calculations in EUSES)													
Ethoxyethanol	106-95-6	3.21E-05	9.20E-C6	1.50E-07	1.17E-05	2.50E-06	26	4	70				
Ethylene oxide	75-21-8	3.01E-04	8.60E-C6	3.60E-05	3.99E-04	7.70E-05	10	4	86				
Formaldehyde	50-00-0	3.92E-05	1.12E-C6	1.80E-07	2.47E-06	5.50E-07	81	10	29				
Polychlorobiphenyls	1336-36-3	8.40E-05	2.40E-C6	4.20E-07	2.39E-04	4.90E-05	0	99	1				
Propylene oxide	75-58-9	2.28E-04	6.50E-C6	2.30E-05	2.69E-04	6.30E-05	9	3	88				
1,2-dichloroethane	107-06-2	4.20E-05	1.20E-C6	1.20E-06	3.10E-04	6.70E-05	2	2	97				
1,4-dioxane	123-91-1	3.41E-05	9.74E-C6	1.58E-07	3.00E-06	6.61E-07	54	9	37				
2,3,7,8-TCDD dioxin	1746-01-6	2.60E-05	6.00E-C6	8.80E-07	7.47E-05	1.60E-06	0	100	0				
2,4,6-trichlorophenol	88-06-2	2.15E-04	6.18E-C6	1.95E-05	5.65E-05	1.21E-06	16	52	32				
Acetaldehyde	75-07-0	3.92E-05	1.12E-C6	1.83E-07	9.53E-06	7.57E-07	54	9	37				
alpha-hexachlorocyclohexan	319-84-6	4.38E-05	1.25E-C6	4.55E-05	8.30E-06	1.35E-06	3	95	3				
Benzotrifluoride	96-07-7	1.90E-05	5.44E-C6	8.00E-05	6.30E-04	1.35E-04	0	37	63				
Benzyl chloride	100-44-7	3.82E-05	1.10E-C6	3.30E-05	1.49E-05	3.20E-06	17	35	48				
beta-hexachlorocyclohexan	319-85-17	4.55E-05	1.30E-C6	5.40E-05	6.53E-06	1.40E-06	2	96	2				
Bromodichloromethane	75-27-4	4.20E-05	1.20E-C6	1.70E-05	7.00E-05	1.50E-05	7	9	84				
Carbon tetrachloride	56-23-5	5.78E-05	1.65E-C6	1.60E-05	3.63E-02	8.20E-03	0	0	100				
Chloroform	67-68-3	4.55E-05	1.30E-C6	1.50E-05	3.17E-04	6.60E-05	2	2	96				
Diethylhexylphthalate	117-81-7	1.93E-06	5.50E-C6	1.00E-07	5.13E-07	1.10E-07	0	100	0				
Dichloromethane	75-09-2	4.20E-05	1.20E-C6	3.00E-07	2.29E-04	4.90E-05	2	1	97				
Dichlorvos	83-73-7	5.25E-05	1.50E-C6	7.30E-07	3.92E-09	8.40E-10	67	33	0				
Lindane (gamma HCH)	56-69-9	4.20E-05	1.20E-C6	5.10E-05	2.69E-05	6.30E-06	2	67	11				
Hexachlorobenzene	118-74-1	8.52E-05	1.00E-C6	8.20E-07	2.91E-07	4.30E-04	0	95	5				
Pentachlorophenol	87-68-5	3.25E-04	9.30E-C6	9.80E-07	1.83E-06	3.50E-07	0	100	0				
Perchloroethylene	127-18-4	3.85E-05	1.10E-C6	2.00E-05	1.67E-04	4.00E-05	2	33	65				
Styrene	100-42-5	3.85E-05	1.10E-C6	9.70E-06	7.47E-07	1.60E-07	10	69	1				
1,1,1,2-Tetrachloroethane	630-25-6	5.25E-05	1.50E-C6	2.00E-05	2.57E-07	5.50E-04	0	3	97				
1,1,2,2-Tetrachloroethane	79-34-5	2.91E-04	8.60E-C6	1.80E-05	2.38E-07	5.10E-04	1	3	95				
1,1,2-Trichloroethane	79-00-5	3.85E-05	1.10E-C6	3.40E-05	1.40E-04	3.00E-05	3	10	87				
1,1-dichloroethene	75-35-4	3.85E-05	1.10E-C6	1.60E-05	2.01E-06	4.30E-07	25	51	14				
3-methylcholanthrene	56-49-5	2.66E-04	7.50E-C6	0.071	8.40E-09	1.60E-08	0	100	0				
Aldrin	309-00-2	2.52E-05	7.20E-C6	7.25E-07	5.10E-07	1.10E-07	0	100	0				
Bis(2-chloroethyl)ether	111-24-4	1.24E-04	3.60E-C6	3.00E-07	3.45E-06	7.40E-07	78	6	16				
Dibutylphthalate	84-74-2	2.35E-04	8.70E-C6	1.80E-07	3.27E-09	7.00E-09	0	100	0				
Dieldrin	60-57-1	4.20E-04	1.20E-C5	1.10E-07	2.66E-08	5.70E-09	0	100	0				
Hexachlorobutadiene	87-63-2	1.95E-05	5.60E-C6	3.00E-04	8.53E-04	1.40E-04	0	66	32				
Hexachlorocyclopentadiene	87-72-1	5.25E-05	1.50E-C6	1.20E-04	2.43E-03	5.20E-04	0	19	81				
Methylchloride	74-67-3	3.50E-05	1.00E-C6	8.50E-08	2.66E-03	5.70E-04	0	0	100				
Trichloroethylene	79-01-8	6.85E-05	1.90E-C6	2.80E-05	1.35E-05	2.90E-06	25	37	38				
Trifluorin	1562-09-6	3.05E-05	2.30E-C6	6.80E-04	8.67E-07	1.90E-07	0	100	0				

61514

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 ความเสียหายด้าน Human Health (สุขภาพมนุษย์) โดยการหายใจจากอินทรีย์สาร

Emissions to air							
POCP - Photochemical Ozone Creation Potential (secondary pollutants Ozone)							
Primary Pollutant	POCP [%]	file factor m2/m3	Cultural perspective	Equivalent Dalys/kg	1 person Dalys/kg	Individual Dalys/kg	standard deviation %
alkanes							
methane	0.6	1.50E-06	E.H.I	1.28E-06	1.26E-06	1.19E-06	23
ethane	12.3	3.10E-07	E.H.I	2.64E-07	2.64E-07	2.45E-07	23
propane	17.6	4.50E-07	E.H.I	3.63E-07	3.83E-07	3.56E-07	23
butane	35.2	6.90E-07	E.H.I	7.57E-07	7.57E-07	7.04E-07	23
pentane	50.7	7.80E-07	E.H.I	8.64E-07	8.84E-07	8.17E-07	23
hexane	39.5	1.00E-06	E.H.I	8.51E-07	8.51E-07	7.91E-07	23
heptane	40.5	1.00E-06	E.H.I	8.51E-07	8.51E-07	7.91E-07	23
isopentane	17.3	4.40E-07	E.H.I	3.74E-07	3.74E-07	3.48E-07	23
hexane	49.2	1.20E-06	E.H.I	1.02E-06	1.02E-06	9.52E-07	23
2-methyl pentane	42	1.10E-06	E.H.I	9.38E-07	9.38E-07	8.70E-07	23
3-methyl pentane	47.9	1.20E-06	E.H.I	1.02E-06	1.02E-06	9.52E-07	23
2,2-dimethyl butane	24.1	6.10E-07	E.H.I	5.19E-07	5.19E-07	4.83E-07	23
2,3-dimethyl butane	54.1	1.40E-06	E.H.I	1.19E-06	1.19E-06	1.11E-06	23
heptane	49.4	1.30E-06	E.H.I	1.11E-06	1.11E-06	1.03E-06	23
2-methyl hexane	41.1	1.00E-06	E.H.I	8.51E-07	8.51E-07	7.91E-07	23
3-methyl hexane	55.4	9.20E-07	E.H.I	7.63E-07	7.83E-07	7.28E-07	23
octane	45.3	1.10E-06	E.H.I	9.38E-07	9.38E-07	8.70E-07	23
nonane	41.4	1.00E-06	E.H.I	8.51E-07	8.51E-07	7.91E-07	23
decane	33.4	9.70E-07	E.H.I	8.26E-07	8.26E-07	7.68E-07	23
undecane	33.4	9.70E-07	E.H.I	8.26E-07	8.26E-07	7.68E-07	23
dodecane	33.7	9.00E-07	E.H.I	7.66E-07	7.66E-07	7.12E-07	23
cyclohexane	25	7.30E-07	E.H.I	6.21E-07	6.21E-07	5.78E-07	23
alkenes/dienes							
ethene	100	2.90E-06	E.H.I	2.13E-06	2.13E-06	1.99E-06	23
propene	112	2.80E-06	E.H.I	2.39E-06	2.36E-06	2.23E-06	23
1-butene	106	2.70E-06	E.H.I	2.30E-06	2.30E-06	2.14E-06	23
cis 2-butene	115	2.60E-06	E.H.I	2.47E-06	2.47E-06	2.25E-06	23
trans 2-butene	113	2.60E-06	E.H.I	2.47E-06	2.47E-06	2.25E-06	23
isopropyl propene	62.7	1.60E-06	E.H.I	1.26E-06	1.26E-06	1.27E-06	23
1-pentene	97.7	2.50E-06	E.H.I	2.13E-06	2.13E-06	1.98E-06	23
cis 2-pentene	112	2.80E-06	E.H.I	2.38E-06	2.36E-06	2.23E-06	23
trans 2-pentene	112	2.80E-06	E.H.I	2.38E-06	2.36E-06	2.23E-06	23
2-methyl 1-butene	77.1	2.00E-06	E.H.I	1.70E-06	1.70E-06	1.58E-06	23
2-methyl 2-butene	64.2	2.10E-06	E.H.I	1.79E-06	1.79E-06	1.66E-06	23
3-methyl 1-butene	67.1	1.70E-06	E.H.I	1.48E-06	1.45E-06	1.35E-06	23
1-hexene	67.4	2.30E-06	E.H.I	1.87E-06	1.87E-06	1.74E-06	23
cis 2-hexene	107	2.70E-06	E.H.I	2.30E-06	2.30E-06	2.14E-06	23
trans 2-hexene	107	2.70E-06	E.H.I	2.30E-06	2.30E-06	2.14E-06	23
1,3-butadiene	65.1	2.20E-06	E.H.I	1.67E-06	1.67E-06	1.74E-06	23
isoprene	109	2.80E-06	E.H.I	2.39E-06	2.36E-06	2.23E-06	23
alkynes							
acetylene	8.5	2.30E-07	E.H.I	1.67E-07	1.87E-07	1.74E-07	23
aromatics							
benzene	21.8	5.50E-07	E.H.I	4.69E-07	4.68E-07	4.35E-07	23
toluene	63.7	1.50E-06	E.H.I	1.36E-06	1.36E-06	1.27E-06	23
p-xylene	105	2.70E-06	E.H.I	2.30E-06	2.30E-06	2.14E-06	23
m-xylene	111	2.80E-06	E.H.I	2.38E-06	2.36E-06	2.23E-06	23
o-xylene	101	2.60E-06	E.H.I	2.21E-06	2.21E-06	2.05E-06	23
ethyl benzene	73	1.80E-06	E.H.I	1.53E-06	1.53E-06	1.42E-06	23
n-propyl benzene	63.8	1.60E-06	E.H.I	1.36E-06	1.36E-06	1.27E-06	23
isopropyl benzene	50	1.30E-06	E.H.I	1.11E-06	1.11E-06	1.03E-06	23

1.3 ผลกระทบด้านการหายใจจากอินทรีย์สาร (Respiration of inorganic substance)

การคำนวณผลกระทบด้านการหายใจจะคิดเหมือนกัน ต่างกันที่ว่าเป็นสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 ความเสียหายด้าน Human Health (สุขภาพมนุษย์) โดยการหายใจจากอนินทรีย์สาร

Primary Pollutant	Secondary Pollutant	rate factor m2a/m3	Critical perspective	Equalization Dg/yr/kg	Human thro Dg/yr/kg	Individualist Dg/yr/kg	standard deviation %
CO	CO	1.00E-04	E	7.31E-07			64
TSP	PM10	4.49E-06	E.H.	1.10E-04	1.10E-04	6.03E-05	19
PM10	PM10	1.50E-05	E.H.	3.75E-04	3.75E-04	2.74E-04	18
PM2.5	PM2.5	1.70E-05	E.H.	7.00E-04	7.00E-04	5.10E-04	19
SOx (as SO2)	SO2	3.00E-06	E.H.	1.09E-06	1.09E-06		27
SOx (as SO2)	Sulphates	1.30E-06	E.H.	5.35E-05	5.35E-05	3.90E-05	16
NH3	Sulphates	1.70E-06	E.H.	7.00E-05	7.00E-05	5.10E-05	16
NH3	Nitrates	6.00E-07	E.H.	1.50E-05	1.50E-05		36
NOx (as NO2)	NO2	2.50E-06	E	4.31E-07			54
NOx (as NO2)	Nitrates	3.50E-06	E.H.	8.74E-05	8.74E-05		36
NOx (as NO2)	O3	1.50E-06	E.H.	1.26E-06	1.26E-06	1.19E-06	21

Primary Pollutant คือสารที่ปล่อยออกสู่อากาศ

Secondary pollutant คือสารที่เกิดจากการรวมตัวกันจากสารที่ปล่อยออกสู่อากาศในตอนแรก

1.4 สารแผ่รังสี (Radiation)

ในแต่ละพื้นที่นั้นจะมีค่าไม่เท่ากัน แสดงด้วยค่า Exposure factor ดังตาราง 2.7

ตารางที่ 2.7 ความเสียหายด้าน Human Health (สุขภาพมนุษย์) โดยการแผ่รังสี

Exposure factor (man Sv.kBq)	Atmospheric releases	Liquid releases into rivers	Liquid releases into the ocean	Reference
Silver-110 (Ag-110m)	-	3.90E-10	-	DREXER 1965
Americium-241 (Am-241)	-	-	2.10E-08	DREXER 1965
Carbon-14 (C-14)	-	-	7.60E-10	DREXER 1965
Curium alpha (Cm alpha)	-	-	3.00E-03	DREXER 1965
Cobalt-58 (Co-58)	2.00E-10	2.70E-11	-	DREXER 1965
Cobalt-60 (Co-60)	1.10E-08	2.90E-08	2.60E-10	DREXER 1965
Cesium-134 (Cs-134)	7.90E-09	9.50E-08	6.20E-11	DREXER 1965
Cesium-137 (Cs-137)	8.90E-09	1.10E-07	5.20E-11	DREXER 1965
Iodine-131 (I-131)	1.00E-10	3.30E-10	-	DREXER 1965
Iodine-133 (I-133)	6.20E-12	-	-	DREXER 1965
Manganese-54 (Mn-54)	-	2.10E-10	-	DREXER 1965
Lead-210 (Pb-210)	1.00E-09	-	-	DREXER 1965
Polonium-210 (Po-210)	1.00E-09	-	-	UNSCEAR 1993
Plutonium alpha (Pu alpha)	5.50E-03	-	-	UNSCEAR 1993
Plutonium-238 (Pu-238)	4.40E-03	-	4.50E-09	DREXER 1965
Radium-226 (Ra-226)	6.0E-10 11	8.5E-11 21	-	DREXER 1965
Radium-228 (Ra-228)	1.60E-11	-	-	DREXER 1965
Ruthenium-106 (Ru-106)	-	-	4.50E-11	DREXER 1965
Antimony-124 (Sb-124)	-	5.40E-10	-	DREXER 1965
Antimony-125 (Sb-125)	-	-	9.60E-12	DREXER 1965
Strontium-90 (Sr-90)	-	-	2.70E-12	DREXER 1965
Thorium-230 (Th-230)	3.00E-03	-	-	UNSCEAR 1993
Uranium-234 (U-234)	8.40E-03	1.60E-09	1.50E-11	DREXER 1965
Uranium-235 (U-235)	1.40E-03	1.50E-09	1.60E-11	DREXER 1965
Uranium-238 (U-238)	5.40E-09	1.50E-09	1.50E-11	DREXER 1965
Xenon-133 (Xe-133)	9.40E-14	-	-	DREXER 1965

การแผ่รังสีจะทำให้เกิดความเสียหายต่ออวัยวะต่างๆ ในร่างกาย เช่น กระดูก ไขกระดูก ปอด ผิวหนัง และช่องท้อง เป็นต้น

1.5 ภาวะโลกร้อน (Climate change)

ในวิธีการคำนวณโดยวิธี Ecological Indicator 99 นี้ จะมีความเสียหายและผลกระทบจากพื้นที่ต่างๆ ใน 9 ภูมิภาคทั่วโลก ค่าที่ให้มีคือความเสียหายสุทธิ และผลประโยชน์ ต่อพื้นที่ต่างๆ ในโลกและปี ช่วงเวลาสำหรับการคำนวณจะมี 2 แบบ คือ ระยะสั้นจากปี ค.ศ.2000ถึง ค.ศ. 2100 และระยะยาวจากปี ค.ศ. 2000 ถึง ค.ศ. 2200

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ภาวะความเป็นกรด/สาหร่ายเติบโตผิดปกติ (Acidification/eutrophication) เป็นการวัดค่าความเป็นกรด pH, การเปลี่ยนแปลงค่า pH และการเปลี่ยนแปลงของสารอาหาร เป็นต้น โดยสารที่ใช้วัดคือ SO_x , NO_x และ NH_3

2.3 การใช้พื้นที่ (Land use) สำหรับผลกระทบด้านการใช้พื้นที่ที่มี 2 ลักษณะคือ Conversion to continuous urban โดยจะเป็นการพิจารณากิจกรรมด้านการทำเหมืองแร่ คือเป็นการนำพื้นที่ที่อยู่ในสภาวะธรรมชาติมาทำเป็นเหมืองแร่ ซึ่งในแต่ละต้นของโลหะที่สกัดได้เป็นการทำให้เกิดหลุมแร่ถือว่าเป็นการทำลายสภาวะเดิมของธรรมชาติ Occupation as industrial area เป็นการปรับเปลี่ยนพื้นที่ทางเกษตรกรรมมาเป็นพื้นที่ทางอุตสาหกรรม โดยทั้งสองกรณีจะคิดว่าเป็นสาเหตุให้ความหลากหลายของพืชและสัตว์ลดลงเป็นการทำลายระบบนิเวศวิทยา

3. Resource depletion (การลดลงของทรัพยากร) การใช้ทรัพยากร นำไปสู่การลดลงของทรัพยากรหรือปริมาณที่เหลืออยู่ทั้งในรูปของสินแร่และเชื้อเพลิง แสดงหน่วยเป็นปริมาณของพลังงานที่ใช้ในการสกัดแร่หรือเชื้อเพลิง (MJ surplus energy) ประกอบด้วย

3.1 การใช้สินแร่ (Mineral) พลังงานที่ใช้ต่อกิโลกรัมแร่ธาตุหรือสินแร่ โดยเป็นผลที่ทำให้แร่มีปริมาณลดลง

3.2 การใช้เชื้อเพลิง (Fossil fuel) พลังงานที่ใช้ต่อพลังงานที่ใช้ในการสกัดให้เชื้อเพลิงเป็นกิโลกรัมหรือลูกบาศก์เมตร โดยเป็นผลที่ทำให้คุณภาพของทรัพยากรลดลง

ผลจากการทำ Fate analysis, Effect analysis และ Damage analysis เหมือนกับผลจากการทำ Classification และ Characterization คือเป็นการแจกแจงสารเข้าสู่ประเภทของผลกระทบและทำการคำนวณราคาของผลกระทบแต่ละประเภท จากนั้นจะทำการหาขนาดของผลกระทบแต่ละกลุ่มเป้าหมายโดยใช้ค่า Normalization และการให้ความสำคัญของแต่ละกลุ่มเป้าหมายโดยใช้ค่า Weighting จาก Pre-Consultants

ตารางที่ 2.10 แสดงความสัมพันธ์ของกลุ่มเป้าหมายที่ถูกทำลาย ประเภทของผลกระทบ และสารที่เป็นปัจจัยของผลกระทบ

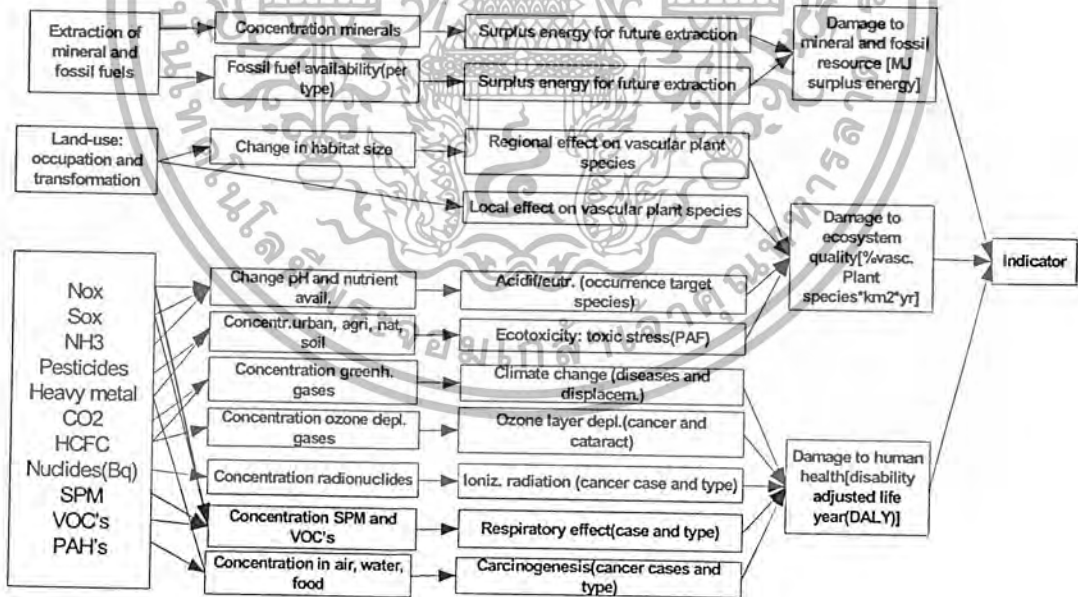
กลุ่มเป้าหมายของการทำลาย; หน่วย	ประเภทของผลกระทบ	สารที่เป็นปัจจัยของผลกระทบ
Human health;	Carcinogenic	Arsenic, cadmium, nickel
DALYs (Disability Adjusted Life Years)	Respiration of organic substance	Methane, benzene, xylene
	Respiration of inorganic substance	CO , SO_x , NH_3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	Radiation	Nuclear energy production
	Climate change	CO ₂ , methane, CFCs
	Ozone depletion	CFCs, HFCs
Ecosystem quality; PDF(Potentially Disappeared Fraction),	Acidification/ eutrophication	SO _x , NO _x , NH ₃
	Ecotoxicity	Heavy metal, benzene
	Land use	Grassland, woods
Resource depletion; (MJ surplus energy)	Mineral	Copper, nickel, zinc
	Fossil fuel	Crude oil, coal

ที่มา: Phylipsen (2000)

หลังจากการจัดกลุ่มผลกระทบทั้ง 3 ประเภท จะทำการเปรียบเทียบกับพื้นฐานโดยใช้ค่า Normalization และให้ค่าความสำคัญหรือน้ำหนักโดยใช้ค่า Weighting และรวมเป็นคะแนนเดียว (Single Score หรือ Indicator) ค่า Normalization และ Weighting นอกจากนี้ แผนภาพขั้นตอนการคำนวณผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตามวิธี EcoIndicator 99 แสดงได้ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.3 แผนภาพการประเมินค่าโดยวิธี EcoIndicator 99 (ที่มา: Pre' Consultants (2001))

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.11 แสดงค่า Normalization และ Weighting สำหรับแต่ละกลุ่มเป้าหมายหรือลักษณะการทำลาย

Pre'Consultants weighting factor	Pre'Consultants normalization factor	Damage categories
300	2.65E01	Human health
400	1.95E-04	Ecosystem quality
300	1.19E-04	Resource depletion

ที่มา: Pre' Consultants (2001)

2.3.2 วิธี EDIP (Environmental Design of Industrial Products)

ขั้นตอนในการประเมินผลกระทบของโปรแกรมนี้จะทำการประเมินเป็นขั้นตอนดังนี้

1. Classification/Characterization เป็นขั้นตอนในการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างมลสารที่ปล่อยออกมา กับผลิตภัณฑ์ที่ทำให้เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมต่างๆ เช่น ในกรณีภาวะโลกร้อนขึ้น ก๊าซหรือสารต่างๆ ที่เป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดปัญหาภาวะโลกร้อนขึ้นจะถูกประเมินเป็นหน่วยของ kg CO₂ equivalent ดังตารางที่ 2.12

ตารางที่ 2.12 ค่า GWP:Global warming potential ในเวลาต่างๆ กัน

ก๊าซต่างๆ	สูตรเคมี	GWP:Global warming potential (kgCO ₂ /kgก๊าซ)		
		20 ปี	100 ปี	500 ปี
Carbon dioxide	CO ₂	1	1	1
Methane	CH ₄	62	25	8
CFC 11	CFC1 ₁	5000	4000	1400
CFC 12	CF ₂ Cl ₂	7900	8500	4200
CFC 134a	CH ₂ FCF ₃	3300	1300	420

ที่มา: Henrik(1997)

จากนั้นนำมาคำนวณหาศักยภาพของผลกระทบนั้นๆ ด้วยสมการที่ (1)

$$EP_i = \sum (Q_i \times EF_{ij}) \quad (1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ EP_j (Environmental impact potential) คือ ค่าศักยภาพของผลกระทบสิ่งแวดล้อม สำหรับผลกระทบประเภท j ใดๆ (kg substance equivalent)

Q_i (Quantity of substance) คือ ปริมาณสารมลภาวะ i ที่ถูกปล่อยออกมา (kg substance j)

EF_{ij} (Equivalency factor) คือ ค่าเทียบเท่าของสาร i ที่ทำให้เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j (kg substance equivalent/ kg substance j)

2. Normalization คือการหาความสำคัญของแต่ละผลกระทบโดยทำการเปรียบเทียบค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ต่ออายุการใช้งานและต่อค่าอ้างอิงของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมนั้นๆ ต่อคนต่อปี มีการคำนวณดังสมการที่ (2)

$$NP_{j(\text{Product})} = EP_j / (T \times ER_j) \quad (2)$$

โดยที่ $NP_{j(\text{Product})}$ (Normalized environmental impact potential) คือค่าปกติทางศักยภาพของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j ใดๆ ของผลิตภัณฑ์ (person)

T (Lifetime of product) คืออายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ (year)

ER_j (Normalization Reference) คือค่าอ้างอิงปกติของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่ j ใดๆ ที่เกิดจากการกระทำของคนหนึ่งคนต่อปี (kg substance equivalent/person/year)

วิธี EDIP นี้จะอ้างอิงข้อมูลทางสิ่งแวดล้อมจากปี 1990 ดังนั้นค่า ER_{j1990} หาได้จากอัตราส่วนของค่าศักยภาพผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมต่อจำนวนประชากรในปี 1990 ได้การคำนวณดังสมการที่ (3)

$$ER_{j1990} = EP_{j1990} / POP_{j1990} \quad (3)$$

ตารางที่ 2.13 ค่า ER_{j1990} ของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมต่างๆ

ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม	หน่วย	ต่อคน
ภาวะโลกร้อน	KgCO ₂ -eq/year	8700
การลดลงของโอโซน	KgCFC11-eq/year	0.2
ภาวะกรดในบรรยากาศ	KgSO ₂ -eq/year	82

ที่มา : Henrik (1997)

3. Weighting ขั้นตอนนี้เป็นกรให้ค่าน้ำหนักความสำคัญของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นแต่ละชนิดที่จะมีค่าแตกต่างกันออกไป อัตราส่วนของความสำคัญ WF (Weighting

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

factor) จะขึ้นอยู่กับผู้ประเมิน เช่น มีการนำเอานโยบายสิ่งแวดล้อมโลกในการลดมลภาวะแต่ละชนิด มาเป็นค่า WF หรือนำเอากฎหมายสิ่งแวดล้อมของแต่ละประเทศในการอนุญาตให้ปล่อยมลภาวะแต่ละชนิดมาตั้งเป็นค่า WF ก็ได้ แต่โปรแกรมการประเมินวัฏจักรชีวิต SimaPro ได้ใช้ข้อมูลทางสิ่งแวดล้อมของทวีปยุโรป ที่ทำให้เกิดการเสียชีวิตของคน 1 คน ในหนึ่งพันคนต่อปี ซึ่งสมการการคำนวณได้จากสมการที่ (4) และ (5)

$$WP_j = WF_j \times NP_j \quad (4)$$

$$= WF_j \times EP_{j(\text{Product})} / ER_{1990}$$

$$= (ER_{1990} / ER_{2000}) \times (EP_{j(\text{Product})} / ER_{1990})$$

$$= EP_{j(\text{Product})} / ER_{2000} \quad (5)$$

โดยที่ WP_j (Weighted Environmental impact potential) คือ ค่าศักยภาพของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j ใดๆ หลังการให้ค่าน้ำหนักความสำคัญแล้ว มีหน่วย (person for target year; Pt.)

WF_j (Weighting factor) คือค่าสัดส่วนน้ำหนักความสำคัญของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j ใดๆ ในปีที่ตั้งเป้าหมายเอาไว้ ซึ่ง WF_j ของผลกระทบสิ่งแวดล้อมใดๆ ที่เกิดผลกระทบกับคนหนึ่งคนต่อปี (ER_{1990}) กับเป้าหมายของสังคมที่จะกำหนดให้ก่อมลพิษได้ในปี 2000 (ER_{2000}) ซึ่งอยู่บนพื้นฐานของนโยบายทางสิ่งแวดล้อมของพื้นที่นั้นๆ เขียนเป็นสมการคำนวณได้ดังสมการที่ 6

$$WF_j = ER_{1990} / ER_{2000} \quad (6)$$

WF_j จะแสดงปริมาณค่า ER_{2000} ที่จะต้องถูกกำหนดให้ลดลงในปี 2000 ซึ่งเป็นไปตามนโยบายทางสิ่งแวดล้อมในการแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อมในแต่ละประเภท โดยที่ถ้าการตั้งเป้าหมายของการลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมมากเท่าไรแสดงว่าค่า WF_j จะมากขึ้นเท่านั้น ซึ่งค่า ER_{2000} คำนวณได้จากสมการที่ 7

$$ER_j = EP_{j2000} / POP_{1990} \quad (7)$$

ค่า EP_{j2000} เป็นค่าศักยภาพของผลกระทบสิ่งแวดล้อม j ใดๆ ในปี 2000 ซึ่งคำนวณได้ดังสมการที่ 8

$$EP_{j2000} = \sum \{ (EP_{j1990} \times [1 - PRT_i \times 10 / (TY_i - RY_i)]) \} \quad (8)$$

โดยที่ PRT_i (Political reduction target) คือ เป้าหมายการลดลง (%) ของสาร i ระหว่างปีที่เป้าหมายปีอ้างอิงปีที่เป้าหมาย

TY_i คือ ปีเป้าหมายตามนโยบายการลดลงของสาร i

RY_i คือ ปีอ้างอิง

การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมโดยวัดระดับผลกระทบสิ่งแวดล้อมเป็นค่าศักยภาพผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม (WP_j) เป็นหน่วย Pt. ประเภทของผลกระทบแบ่งออกเป็น

- Global warming (ภาวะโลกร้อน)
- Ozone depletion (การลดลงของโอโซน)
- Acidification (ภาวะความเป็นกรด)
- Eutrophication (ภาวะสาหร่ายเติบโตผิดปกติ)
- Photochemical smog (หมอกควันพิษ)
- Ecotoxicity water chronic (ความเป็นพิษทางน้ำเรื้อรัง)
- Ecotoxicity water acute (ความเป็นพิษทางน้ำอย่างเฉียบพลัน)
- Ecotoxicity soil chronic (ความเป็นพิษทางดินเรื้อรัง)
- Human toxicity air (ความเป็นพิษทางอากาศต่อมนุษย์)
- Human toxicity water (ความเป็นพิษทางน้ำต่อมนุษย์)
- Human toxicity soil (ความเป็นพิษทางดินต่อมนุษย์)
- Bulk waste (ของเสียในรูปของของแข็ง)
- Hazardous waste (ของเสียที่มีพิษ)
- Radioactive waste (ของเสียที่มีสารกัมมันตภาพรังสี)
- Slags/ashes (ฝุ่นเถ้า)
- Resources (all) (ทรัพยากร)

2.4 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิกอน

เซลล์แสงอาทิตย์ คือ สิ่งประดิษฐ์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิกอน (Silicon), แกลเลียม อาร์เซไนด์ (Gallium Arsenide), อินเดียม ฟอสไฟด์ (Indium Phosphide), แคดเมียม เทลลูไรด์ (Cadmium Telluride) และคอปเปอร์ อินเดียม ไดเซเลไนด์ (Copper Indium Diselenide) เป็นต้น ซึ่งเมื่อได้รับแสงอาทิตย์โดยตรงก็จะเปลี่ยนเป็นพาหะนำไฟฟ้า และจะถูกแยกเป็นประจุไฟฟ้าบวกและลบเพื่อให้เกิดแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วทั้งสองของเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อนำขั้วไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ต่อเข้ากับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสตรง กระแสไฟฟ้าจะไหลเข้าสู่อุปกรณ์เหล่านั้น ทำให้สามารถทำงานได้

ลักษณะเด่นของเซลล์แสงอาทิตย์

- ใช้พลังงานจากธรรมชาติ คือ แสงอาทิตย์ ซึ่งสะอาดและบริสุทธิ์ ไม่ก่อปฏิกิริยาที่จะทำให้สิ่งแวดล้อมเป็นพิษ
- เป็นการนำพลังงานจากแหล่งธรรมชาติมาใช้อย่างคุ้มค่า
- สามารถนำไปใช้เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ทุกพื้นที่บนโลก และได้พลังงานไฟฟ้าใช้โดยตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

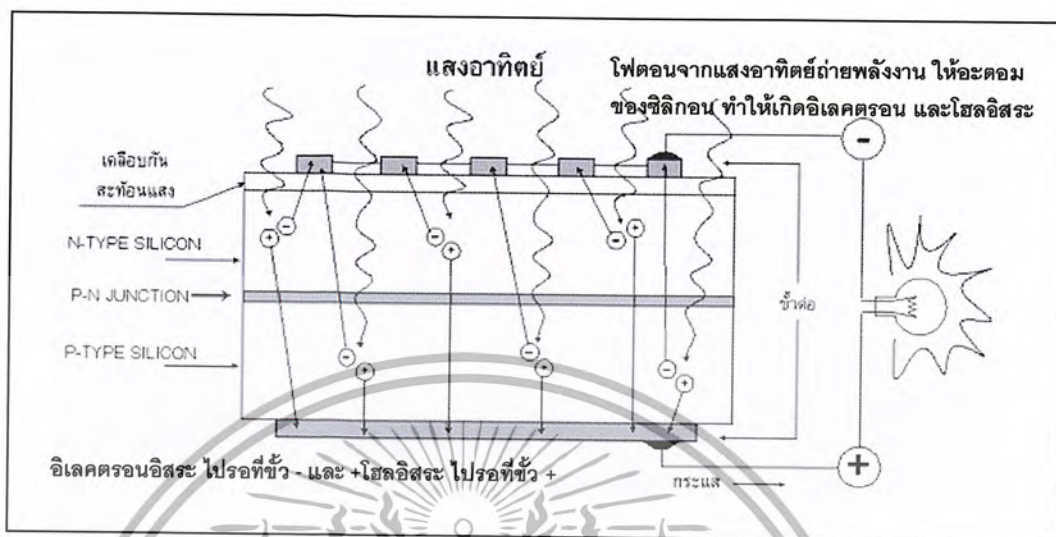
- ไม่ต้องใช้เชื้อเพลิงอื่นใดนอกจากแสงอาทิตย์ รวมถึงไม่มีการเผาไหม้ จึงไม่ก่อให้เกิดมลภาวะด้านอากาศและน้ำ
- ไม่เกิดของเสียขณะใช้งาน จึงไม่มีการปล่อยมลพิษทำลายสิ่งแวดล้อม
- ไม่เกิดเสียงและไม่มีการเคลื่อนไหวขณะใช้งาน จึงไม่เกิดมลภาวะด้านเสียง
- เป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่กับที่ และไม่มีชิ้นส่วนใดที่มีการเคลื่อนไหวขณะทำงาน จึงไม่เกิดการสึกหรอ
- ต้องการการบำรุงรักษาน้อยมาก
- อายุการใช้งานยืนยาวและประสิทธิภาพคงที่
- มีน้ำหนักเบา ประกอบได้ตามขนาดที่ต้องการ ติดตั้งง่าย เคลื่อนย้ายได้สะดวกและรวดเร็ว
- ช่วยลดปัญหาการสะสมของก๊าซต่างๆ ในบรรยากาศ เช่น คาร์บอนมอนอกไซด์, ซัลเฟอร์ไดออกไซด์, ไฮโดรคาร์บอน และก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ ฯลฯ ซึ่งเป็นผลจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจำพวกน้ำมัน ถ่านหิน และก๊าซธรรมชาติ ล้วนแล้วแต่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เกิดปฏิกิริยาเรือนกระจก ทำให้โลกร้อนขึ้น เกิดฝนกรด และอากาศเป็นพิษ ฯลฯ

หลักการทํางานของเซลล์แสงอาทิตย์

องค์ประกอบหลักของ เซลล์แสงอาทิตย์ คือ สารกึ่งตัวนำ (Semi Conductors) 2 ชนิด นำมาต่อกัน ให้เกิดรอยต่อพีเอ็น (P-N Junction) สารกึ่งตัวนำที่ราคาถูกที่สุดและมีมากที่สุดบนโลก คือ ซิลิคอน จึงถูกนำมาสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ โดยนำซิลิคอนมาดอง และผ่านขั้นตอนการทำให้บริสุทธิ์ จนกระทั่งทำให้เป็นผลึก จากนั้นนำมาผ่านกระบวนการแพร่ซึมสารเจือปนเพื่อสร้างรอยต่อพีเอ็น โดยเมื่อเติมสารเจือฟอสฟอรัส จะเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (เพราะนำไฟฟ้าด้วยอิเล็กตรอนซึ่งมีประจุลบ) และเมื่อเติมสารเจือโบรอน จะเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดพี (เพราะนำไฟฟ้าด้วยโฮล (hole) ซึ่งมีประจุบวก) ดังนั้น เมื่อนำสารกึ่งตัวนำชนิดพีและเอ็นมาต่อกัน จะเกิดรอยต่อพีเอ็นขึ้น เมื่อแสงอาทิตย์ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ ก็จะทำให้พลังงานให้อะตอมของสารกึ่งตัวนำทำให้เกิดอิเล็กตรอนและโฮลอิสระ ไปรออยู่ที่ขั้วต่อ ดังนั้นเมื่อมีการเชื่อมกับวงจรภายนอก เช่น เอาหนอดไฟฟ้ามาต่อคร่อมขั้วต่อ ก็จะทำให้เกิดการไหลของอิเล็กตรอนโฮล (รูปที่ 2.4) ที่ให้พลังงานไฟฟ้ากระแสตรงกับวงจรภายนอกได้ และจะให้พลังงานไฟฟ้าอย่างต่อเนื่อง ตรวจจับที่ยังมีแสงอาทิตย์ตกกระทบเซลล์ ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทันที หรือนำไปกักเก็บไว้ในแบตเตอรี่ (battery) เพื่อใช้งานภายหลังได้

โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอน อาจมีรูปร่างเป็นแผ่นวงกลมหรือสี่เหลี่ยมจัตุรัส ความหนา 200-400 ไมครอน (0.2-0.4 มม.) ผิวด้านรับแสงจะมีชั้นแพร่ซึมที่มีการนำไฟฟ้า

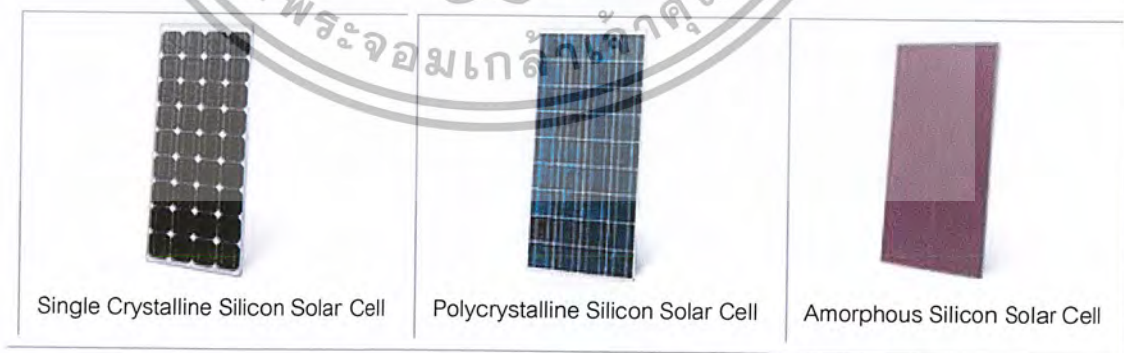
ขั้วไฟฟ้าด้านหน้าที่รับแสงจะมีลักษณะคล้ายกังปลาเพื่อให้ได้พื้นที่รับแสงมากที่สุด ส่วนขั้วไฟฟ้าด้านหลังเป็นขั้วโลหะเต็มพื้นผิว



รูปที่ 2.4 แสดงการผลิตไฟฟ้าโดยเซลล์แสงอาทิตย์

ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์ แบ่งตามวัสดุที่ใช้เป็น 3 ชนิดหลักๆ คือ

1. เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิกอน ชนิดผลึกเดี่ยว (Single Crystalline Silicon Solar Cell) หรือที่รู้จักกันในชื่อ Monocrystalline Silicon Solar Cell และชนิดผลึกรวม (Polycrystalline Silicon Solar Cell) ลักษณะเป็นแผ่นซิลิกอนแข็งและบางมาก (รูปที่ 2.5)
2. เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากอะมอร์ฟัสซิลิกอน (Amorphous Silicon Solar Cell) ลักษณะเป็นฟิล์มบางเพียง 0.5 ไมครอน (0.0005 มม.) ประสิทธิภาพเพียง 5-10% (รูปที่ 2.5)

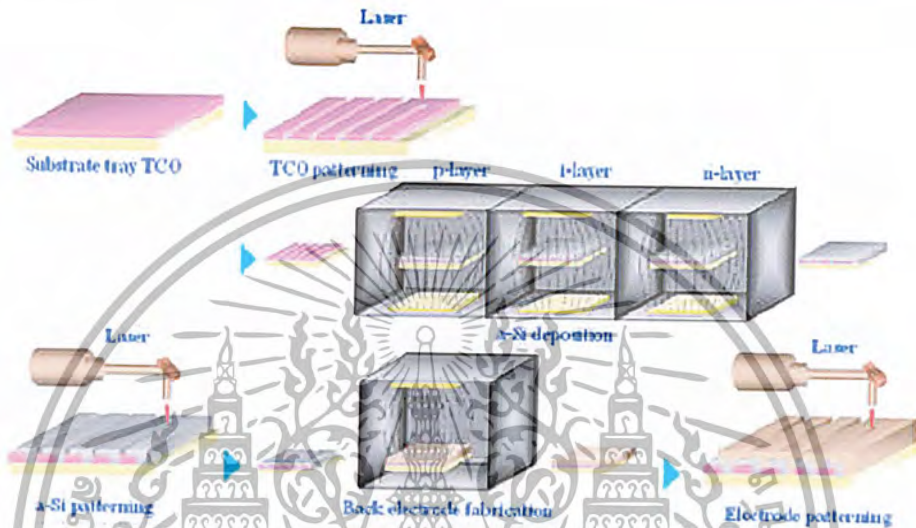


รูปที่ 2.5 ลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำอื่นๆ เช่น แกลเลียม อาร์เซไนด์, แคดเมียม เทลลูไรด์ และคอปเปอร์ อินเดียม ไดเซเลไนด์ เป็นต้น มีทั้งชนิดผลึกเดี่ยว (Single Crystalline) และผลึกรวม (Polycrystalline) เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากแกลเลียม อาร์เซไนด์ จะให้ประสิทธิภาพสูงถึง 20-25%

ขั้นตอนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ ในที่นี้จะขอกล่าวถึงชนิดอะมอร์ฟัสซิลิกอน โดยมีกระบวนการผลิตโดยทั่วไป ดังนี้ (รูปที่ 2.6)



รูปที่ 2.6 กระบวนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิกอนโดยทั่วไป

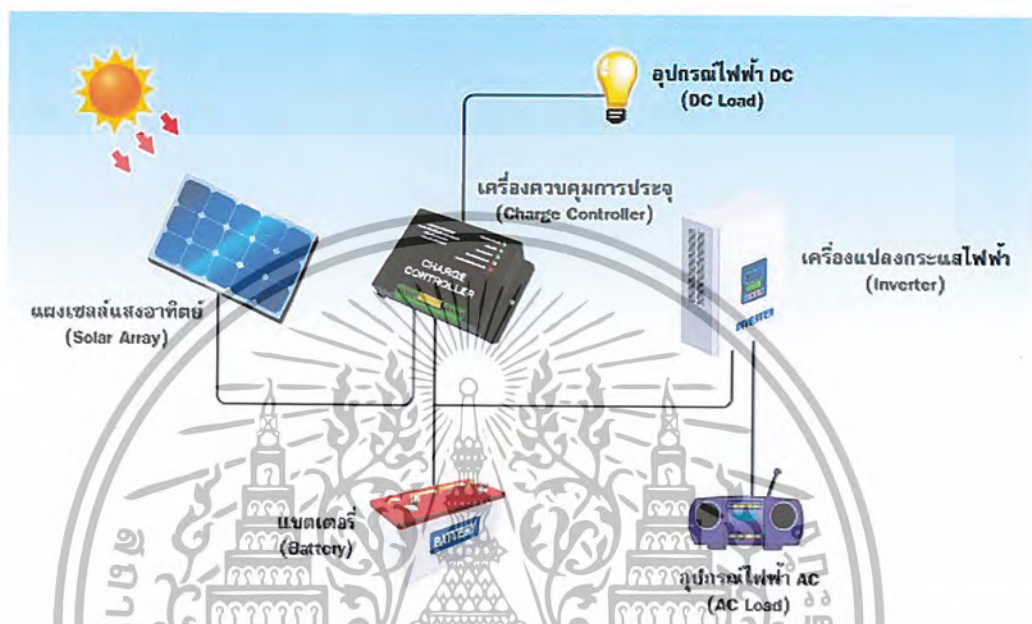
เริ่มจากนำวัสดุเคลือบสารนำไฟฟ้าโปร่งแสง โดยทั่วไปมักใช้กระจก นำมาตัดแบ่งเซลล์ด้วยแสงเลเซอร์ จากนั้น ทำการแยกสลายก๊าซซิลิโคน (Silane Gas) ให้เป็นอะมอร์ฟัสซิลิกอน โดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า เครื่อง Plasma CVD (Chemical Vapor Deposition) เป็นการผ่านก๊าซซิลิโคนเข้าไปในครอบแก้วที่มีขั้วไฟฟ้าความถี่สูง จะทำให้อากาศแยกสลายเกิดเป็นพลาสมา และอะตอมของซิลิกอนจะตกลงบนกระจก เกิดเป็นฟิล์มบางขนาดไม่เกิน 1 ไมครอน (0.001 มม.)

ขณะที่แยกสลายก๊าซซิลิโคน จะผสมก๊าซฟอสฟีนและไดโบรอนเข้าไปเป็นสารเจือปน เพื่อสร้างรอยต่อพีเอ็นสำหรับใช้เป็นโครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์

จากนั้น ตัดแบ่งเซลล์ด้วยเลเซอร์อีกครั้งแล้วจึงนำไปเคลือบผิวด้วยสารที่นำไฟฟ้าได้เช่น อลูมิเนียม เพื่อทำขั้วไฟฟ้า ทำการตัดแบ่งเซลล์ขั้นสุดท้าย

อุปกรณ์สำคัญของระบบการผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้ากระแสตรง จึงนำกระแสไฟฟ้าไปใช้ได้เฉพาะกับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสตรงเท่านั้น หากต้องการนำไปใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับหรือเก็บสะสมพลังงานไว้ใช้ต่อไป จะต้องใช้ร่วมกับอุปกรณ์อื่นๆ อีก โดยรวมเข้าเป็นระบบที่ผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ อุปกรณ์สำคัญๆ มีดังนี้ (รูปที่ 2.7)



รูปที่ 2.7 แสดงอุปกรณ์อื่นๆ ที่ใช้ร่วมกับเซลล์แสงอาทิตย์

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Module) ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า ซึ่งเป็นไฟฟ้ากระแสตรงและมีหน่วยเป็นวัตต์ (Watt) มีการนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์หลายๆ เซลล์มาต่อกันเป็นแถวหรือเป็นชุด (Solar Array) เพื่อให้ได้พลังงานไฟฟ้าใช้งานตามที่ต้องการ โดยการต่อกันแบบอนุกรม จะเพิ่มแรงดันไฟฟ้า และการต่อกันแบบขนาน จะเพิ่มพลังงานไฟฟ้า หากสถานที่ที่ตั้งทางภูมิศาสตร์แตกต่างกัน ก็จะมีผลให้ปริมาณของค่าเฉลี่ยพลังงานสูงสุดในหนึ่งวันไม่เท่ากันด้วย รวมถึงอุณหภูมิก็มีผลต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้า หากอุณหภูมิสูงขึ้น การผลิตพลังงานไฟฟ้าจะลดลง

เครื่องควบคุมการประจุ (Charge Controller) ทำหน้าที่ประจุกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เข้าสู่แบตเตอรี่ (battery) และควบคุมการประจุกระแสไฟฟ้าให้มีปริมาณเหมาะสมกับแบตเตอรี่ (battery) เพื่อยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ (battery) รวมถึงการจ่ายกระแสไฟฟ้าออกจากแบตเตอรี่ (battery) ด้วย ดังนั้น การทำงานของเครื่องควบคุมการประจุ คือ เมื่อประจุกระแสไฟฟ้าเข้าสู่แบตเตอรี่ (battery) จนเต็มแล้ว จะหยุดหรือลดการประจุกระแสไฟฟ้า

(และมักจะมีคุณสมบัติในการตัดการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้า กรณีแรงดันของ แบตเตอรี่ (battery) ลดลงด้วย) ระบบพลังงานแสงอาทิตย์จะใช้เครื่องควบคุมการประจุกระแสไฟฟ้าในกรณีที่มีการเก็บพลังงานไฟฟ้าไว้ในแบตเตอรี่ (battery) เท่านั้น

แบตเตอรี่ (Battery) ทำหน้าที่เป็นตัวเก็บพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไว้ใช้เวลาที่ต้องการ เช่น เวลาที่ไม่มีแสงอาทิตย์ เวลากลางคืน หรือนำไปประยุกต์ใช้งานอื่นๆ แบตเตอรี่มีหลายชนิดและหลายขนาดให้เลือกใช้งานตามความเหมาะสม

เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter) ทำหน้าที่แปลงพลังงานไฟฟ้าจากกระแสตรง (DC; Direct current) ที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ให้เป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ (AC; Alternative Current) เพื่อให้สามารถใช้ได้กับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสสลับ แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ Sine Wave Inverter ใช้ได้กับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสสลับทุกชนิด และ Modified Sine Wave Inverter ใช้ได้กับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสสลับที่ไม่มีส่วนประกอบของมอเตอร์และหลอดฟลูออโรเรสเซนต์ที่เป็น Electronic ballast

ระบบป้องกันฟ้าผ่า (Lightning Protection) ทำหน้าที่ป้องกันความเสียหายที่เกิดกับอุปกรณ์ไฟฟ้าเมื่อฟ้าผ่า หรือเกิดการเหนี่ยวนำทำให้ความต่างศักย์สูง ในระบบทั่วไปมักไม่ใช้ อุปกรณ์นี้ จะใช้สำหรับระบบขนาดใหญ่และมีความสำคัญเท่านั้น รวมถึงต้องมีระบบสายดินที่มีประสิทธิภาพด้วย

บทที่ 3 การดำเนินโครงการ

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment) ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิกอน โดยข้อมูลส่วนใหญ่ที่ใช้ในปริญญาานิพนธ์อ้างอิงจากกระบวนการผลิต จัดจำหน่ายและบริการหลังการขายของ บริษัท บางกอกโซลาร์ จำกัด ซึ่งข้อมูลบางประเภทบริษัทอนุญาตให้นักศึกษานำมาใช้คำนวณเท่านั้น แต่ไม่อนุญาตให้เปิดเผยในรายงาน ดังนั้นสำหรับข้อมูลบางประเภท นักศึกษาจึงใคร่ขออธิบายที่มาที่ไปโดยสรุปเท่านั้น

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้

- 1) เครื่องคอมพิวเตอร์สำหรับใช้ประมวลผล 1 เครื่อง
- 2) โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro 5.1 1 ชุด

3.2 ขั้นตอนดำเนินโครงการ

1. รวบรวมข้อมูลจากแหล่งต่างๆ
 - ปริญญาานิพนธ์ของสถาบันต่างๆ
 - สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย
 - อินเทอร์เน็ต
2. ติดต่อบริษัทผู้ผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ และตกลงในเรื่องของการเก็บข้อมูลต่างๆ
3. ศึกษากระบวนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ของบริษัท
4. ศึกษากระบวนการประเมินวัฏจักรชีวิต
5. ขั้นตอนการกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา (Scope Definition)
 - กำหนดเป้าหมาย (Goal)
 - กำหนดหน่วยการทำงาน (Functional unit)
 - กำหนดขอบเขตระบบ (System boundary)
 - ตั้งสมมติฐานและข้อจำกัดในการดำเนินโครงการ (Limitation and Assumption)
6. ชั้นวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (Inventory Analysis)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดมุ่งหมายของการทำบัญชีรายการก็คือการเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการที่ได้มีการนิยามไว้แล้วในขั้นตอนการกำหนดขอบเขต (Scope Definition) รวมทั้งการสร้างแบบจำลองของระบบผลิตภัณฑ์ (Product system)

- การสร้างหน่วยของข้อมูลและตั้งหน่วยของกระบวนการ
- เก็บข้อมูลของการแลกเปลี่ยนทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากระบบผลิตภัณฑ์
- การนำเสนอของข้อมูลในรูปของแบบฟอร์มที่เข้าใจง่ายซึ่งประกอบด้วยรายละเอียดของกระบวนการผลิต คุณลักษณะของข้อมูล เช่น คุณภาพของข้อมูล ข้อจำกัด และที่มาของข้อมูล

7. ชั้นประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Impact Assessment) มีขั้นตอนดังนี้:

- Classification and Characterization คำนวณของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เป็นไปได้ (Potential Environmental Impacts) สำหรับการปลดปล่อยมวลสารว่ามวลสารที่ปลดปล่อยออกมาปริมาณเท่าใด ซึ่งทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม แล้วนำมาเขียนเป็นกราฟจัดแยกเป็นกลุ่มๆ ของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น นำผลจาก green-house effect มารวมกันเป็นกลุ่ม เป็นต้น

- Normalization พิจารณาต่อว่าการใช้ทรัพยากรและผลกระทบที่จะเป็นไปได้เกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม และสิ่งแวดล้อมในการทำงานมีผลแค่ไหน ในความสัมพันธ์กับกิจกรรมของสังคมมองเป็นภาพรวมทั้งหมด โดยนำจำนวนประชากรในพื้นที่ที่ทำการวิจัยในช่วงนั้นๆ มาเฉลี่ย หรืออาจกล่าวได้ว่านำผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่คำนวณได้จากขั้นตอนแรก มาพิจารณาเปรียบเทียบว่า ในจำนวนประชากร 1 คนทำให้เกิดผลกระทบได้แค่ไหนใน 1 วัน หรือในช่วงเวลาที่กำหนด

- Weighting ในขั้นตอนนี้เราจะเปรียบเทียบว่า การใช้แหล่งทรัพยากรใดและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมใดสำคัญที่สุดโดยนำ Weighting factor มาคูณผลที่ได้จากขั้นตอน Normalization ผลที่ได้สุดท้ายนี้จะชี้ให้เห็นถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่ร้ายแรงที่สุดต่อมนุษย์ ซึ่ง Weighting Factor เกิดจากการคำนวณของความรุนแรงของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมนั้นๆ ที่มีต่อมนุษย์รวมทั้งสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ

8. ชั้นแปลผล (Interpretation)

เป็นการนำผลการศึกษาที่ได้รับจากการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (LCI) และการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (LCIA) มาเชื่อมโยงเพื่อวิเคราะห์ผลลัพธ์ สรุปผล และ

จัดเตรียมข้อ เสนอแนะที่มาจากผลลัพธ์ของการทำ LCA รวมถึงจัดทำรายงานสรุปการแปลผล การศึกษาประกอบไปด้วยขั้นตอนหลัก ได้แก่

(1) การจำแนกประเด็นที่สำคัญที่มาจากผลลัพธ์ของขั้นการวิเคราะห์ LCI และ LCIA ของการทำ LCA

(2) การประเมินค่า (evaluation) เพื่อตรวจสอบความสมบูรณ์ ความอ่อนไหวของผล การศึกษา และความสอดคล้องของข้อมูล

(3) การจัดทำบทสรุป ข้อเสนอแนะและรายงานผล

9. สรุปและวิเคราะห์โครงการ

10. จัดทำรูปเล่มปริญญาบัตร

11. นำเสนอผลการดำเนินงานต่อบริษัทและภาควิชา

3.3 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา

3.3.1 เป้าหมาย (Goal)

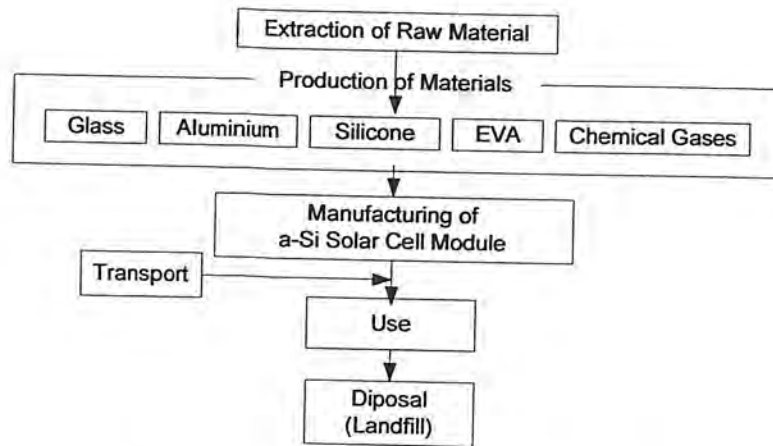
เพื่อประเมินผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของเซลล์แสงอาทิตย์ ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิกอน และผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบและพัฒนาปรับปรุง ผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมต่อไป

3.3.2 หน่วยการทำงาน (Functional unit)

หน่วยการทำงานที่ใช้ตลอดระยะเวลาการดำเนินโครงการนี้ ได้แก่ เซลล์แสงอาทิตย์ ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิกอน กำลังผลิตกระแสไฟฟ้า 5 กิโลวัตต์ (กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 40 วัตต์ต่อแผ่น) และมี อายุการใช้งานเฉลี่ย 20 ปี ภายใต้อุณหภูมิการใช้งานที่ 25 องศาเซลเซียส

3.3.3 ขอบเขตของระบบ (System boundary)

ประเมินวัฏจักรชีวิตของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิกอน โดยเริ่ม ตั้งแต่ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบเพื่อใช้ในการผลิต กระบวนการผลิต การขนส่งผลิตภัณฑ์ การใช้งาน จนกระทั่งการจัดการหลังหมดอายุดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขอบเขตของระบบที่นำมาใช้ในการประเมิน

3.3.4 สมมติฐานและข้อจำกัดในการดำเนินโครงการ (Limitation and Assumption)

การศึกษาเกี่ยวกับการประเมินวัฏจักรชีวิตในประเทศไทยยังอยู่ในช่วงเริ่มต้น ยังมีข้อมูลของวัสดุต่างๆไม่เพียงพอ และฐานข้อมูลการผลิตวัสดุหลายชนิดของประเทศไทยกำลังอยู่ในระหว่างการรวบรวมอย่างเป็นระบบ ดังนั้น โครงการนี้จึงมีการใช้ฐานข้อมูลทั้งที่เป็นของประเทศไทยและของต่างประเทศซึ่งได้จากโปรแกรม SimaPro 5.1 ซึ่งเป็นโปรแกรมของประเทศเนเธอร์แลนด์ ข้อมูลต่างๆของวัสดุและกระบวนการที่มีอยู่ในโปรแกรม จึงเป็นข้อมูลที่มาจากสภาพแวดล้อมภายในประเทศเนเธอร์แลนด์และทวีปยุโรป ซึ่งอาจกล่าวได้ว่ามีความแตกต่างจากประเทศไทย เช่น ข้อมูลในการขนส่ง หรือข้อมูลของวัสดุ ซึ่งกรรมวิธีในการผลิตย่อมต่างกันขึ้นอยู่กับทรัพยากรธรรมชาติที่มีอยู่ในประเทศนั้นๆ เป็นต้น ในกรณีที่วัสดุที่ใช้ไม่มีอยู่ในฐานข้อมูล และเมื่อพิจารณาแล้ววัสดุนั้นส่งผลกระทบน้อยมากต่อกระบวนการ จะเลือกใช้วัสดุที่มีสมบัติใกล้เคียงหรือตัดข้อมูลส่วนดังกล่าวทิ้ง และเนื่องจากค่าปริมาณต่างๆ ที่ใช้ใส่ลงในโปรแกรมส่วนใหญ่เป็นค่าที่ได้จากการคำนวณเปรียบเทียบเนื่องจากทางบริษัทไม่ได้ติดตั้งระบบการวัดค่าโดยละเอียด ดังนั้นค่าที่ใช้ในทำให้ค่าที่ได้อาจไม่ตรงกับค่าที่ใช้ในการผลิตจริง

3.4 การวิเคราะห์บัญชีรายการ (Inventory Analysis)

3.4.1 การเตรียมวัสดุ (Production of materials)

ขั้นตอนการเตรียมวัสดุ หมายถึง ขั้นตอนตั้งแต่การสกัดวัสดุออกจากแหล่งธรรมชาติจนกระทั่งกลายเป็นวัสดุเริ่มต้นในกระบวนการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เช่น การผลิตกระจก (Cover Glass, TCO Glass) การผลิตก๊าซต่างๆ เป็นต้น

3.4.2 กระบวนการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Manufacturing)

กระบวนการผลิตหมายถึง ขั้นตอนการนำเอาวัตถุดิบมาผลิตเป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์

3.4.3 การขนส่งผลิตภัณฑ์ (Transportation)

ขั้นตอนการขนส่ง หมายถึง การขนส่งจากโรงงานผู้ผลิตไปยังตัวแทนจำหน่าย ทั้งนี้จะไม่รวมถึงการขนส่งวัตถุดิบมายังโรงงานผู้ผลิต เนื่องจากขาดข้อมูลในการขนส่งในส่วนดังกล่าว

3.4.4 การใช้งาน (Use)

ในขั้นตอนการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์นั้น จะสมมติให้ตลอดอายุการใช้งาน 20 ปี ไม่มีการใช้พลังงานไฟฟ้า ไม่มีการรั่วไหลของสารใดๆ ออกจากระบบ และไม่มีการซ่อมบำรุง โดยไม่คำนึงถึงอุปกรณ์ต่อพ่วงอื่นๆ ได้แก่ แบตเตอรี่ เครื่องควบคุมการประจุ (Charge Controller) และเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter)

3.4.5 การจัดการหลังหมดอายุ (Disposal)

เนื่องจากในปัจจุบันยังไม่มีการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ได้จนครบอายุการใช้งาน และเมื่อคำนึงถึงลักษณะทางกายภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำการศึกษาค้นคว้า จึงสมมติให้จัดการโดยวิธีฝังกลบ (Landfill) เนื่องจากไม่สามารถแยกชิ้นส่วนมาทำการใดๆ ได้

โดยมีรายละเอียดที่มาของข้อมูลในแต่ละขั้นตอนแสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ที่มาของข้อมูลในแต่ละขั้นตอน

ขั้นตอนตลอดวัฏจักรชีวิต	เก็บข้อมูลจากโรงงาน	สอบถามจากผู้ที่เกี่ยวข้อง	งานวิจัย / เอกสารอ้างอิง	ฐานข้อมูล SimaPro
การเตรียมวัตถุดิบ (Production of materials)				◆
กระบวนการผลิต (Manufacturing) - การใช้วัตถุดิบและการปลดปล่อยของเสีย - การใช้พลังงาน (ไฟฟ้า)	◆		◆	
การขนส่งผลิตภัณฑ์ (Transportation) - การผลิตและใช้เชื้อเพลิงในการขนส่ง - ระยะทางเฉลี่ยในการขนส่ง		◆		◆
การใช้งาน (Use) - การผลิตกระแสไฟฟ้า - อายุการใช้งาน		◆	◆	
การจัดการหลังหมดอายุ (Disposal)				◆

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 การประเมินผล

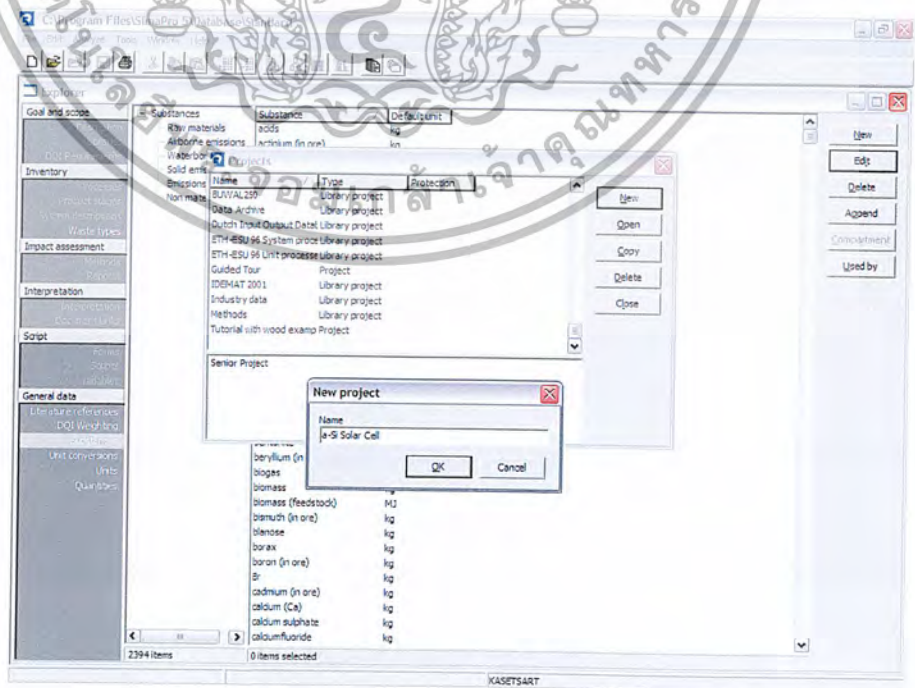
4.1 การใช้งานโปรแกรม SimaPro 5.1

ในขั้นตอนการวิเคราะห์บัญชีรายการ และขั้นตอนการประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์นั้น โปรแกรมสำเร็จรูปมีบทบาทที่สำคัญอย่างยิ่งในการทำหน้าที่เก็บและตรวจเช็คข้อมูล รวมทั้งทำการประเมินผลเพื่อให้ได้ค่าดัชนีต่างๆที่เราสนใจ ซึ่งในที่นี้เลือกใช้โปรแกรม SimaPro 5.1 เนื่องจากเป็นโปรแกรมที่นิยมใช้โดยทั่วไปโดยเฉพาะในประเทศไทย ซึ่งยังไม่มีการรวบรวมฐานข้อมูลของวัตถุดิบและการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆอย่างเป็นระบบ ดังนั้นข้อจำกัดในการใช้โปรแกรมนี้ก็คือ ข้อมูลต่างๆในโปรแกรมเป็นข้อมูลที่ได้จากการรวบรวมภายในประเทศผู้ผลิตโปรแกรมซึ่งก็คือ ประเทศเนเธอร์แลนด์ ข้อมูลหลายประเภทจึงอาจไม่สัมพันธ์กับความเป็นจริงภายในประเทศไทย

ขั้นตอนหลักในการใช้งานโปรแกรม SimaPro 5.1 มีดังนี้

การสร้างโปรเจกต์ใหม่

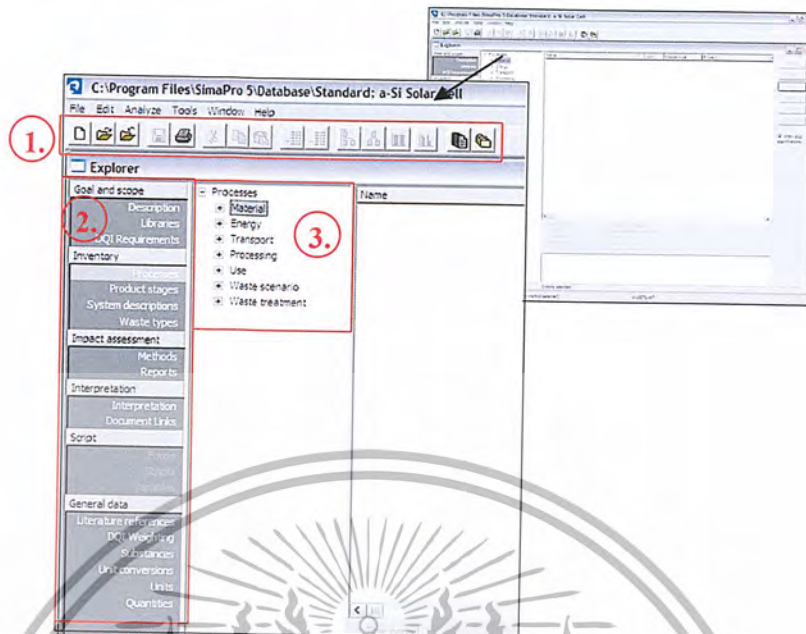
เมื่อเปิดโปรแกรมขึ้นมาครั้งแรก จะพบกับหน้าต่าง >>Projects<< ให้สร้าง Project ใหม่ที่ต้องการโดยคลิกที่ >>New<< จากนั้นพิมพ์ชื่อ Project ที่ต้องการสร้างในช่องว่าง แล้วคลิก >>OK<< ดังรูปที่ 4.1 และเมื่อเข้าโปรแกรมครั้งต่อไป ให้เลือกโปรเจกต์ที่สร้างไว้ จากนั้นคลิก >>Open<<



รูปที่ 4.1 การสร้างโปรเจกต์ใหม่ในโปรแกรม SimaPro 5.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนต่างๆของโปรแกรม หน้าต่างของโปรแกรม SimaPro 5.1 (ดังรูปที่ 4.2) ประกอบด้วย



รูปที่ 4.2 ส่วนประกอบของโปรแกรม SimaPro 5.1

1. ส่วนของแถบเครื่องมือ ปุ่มต่างๆที่อยู่บนแถบเครื่องมือตามลำดับจากด้านซ้ายมีดังต่อไปนี้

- >>New Project<< สำหรับสร้างโปรเจกต์ใหม่
- >>Open Project<< และ >>Close Project<< สำหรับเปิดโปรเจกต์ที่มีอยู่แล้วและปิดโปรเจกต์ปัจจุบัน
- >>Save<< และ >>Print<<
- >>Cut<< >>Copy<< และ >>Paste<<
- >>Insert Line<< และ >>Delete Line<< สำหรับลบและเพิ่มบรรทัดที่ใช้ในการกรอกข้อมูล
- >>Network<< และ >>Tree<< สำหรับให้โปรแกรมแสดงผลความสัมพันธ์ระหว่างสารขาเข้า ขาออกต่างๆที่กรอกข้อมูลลงไปโปรแกรม
- >>Analyze<< และ >>Compare<< สำหรับให้โปรแกรมแสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลออกมาเป็นแผนภูมิตามที่ได้กำหนดวิธีการไว้ใน Methods ซึ่งอยู่ในส่วนที่ 2 (Impact Assessment)
- >>Explorer<< สำหรับให้แสดงหน้าต่าง Explorer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

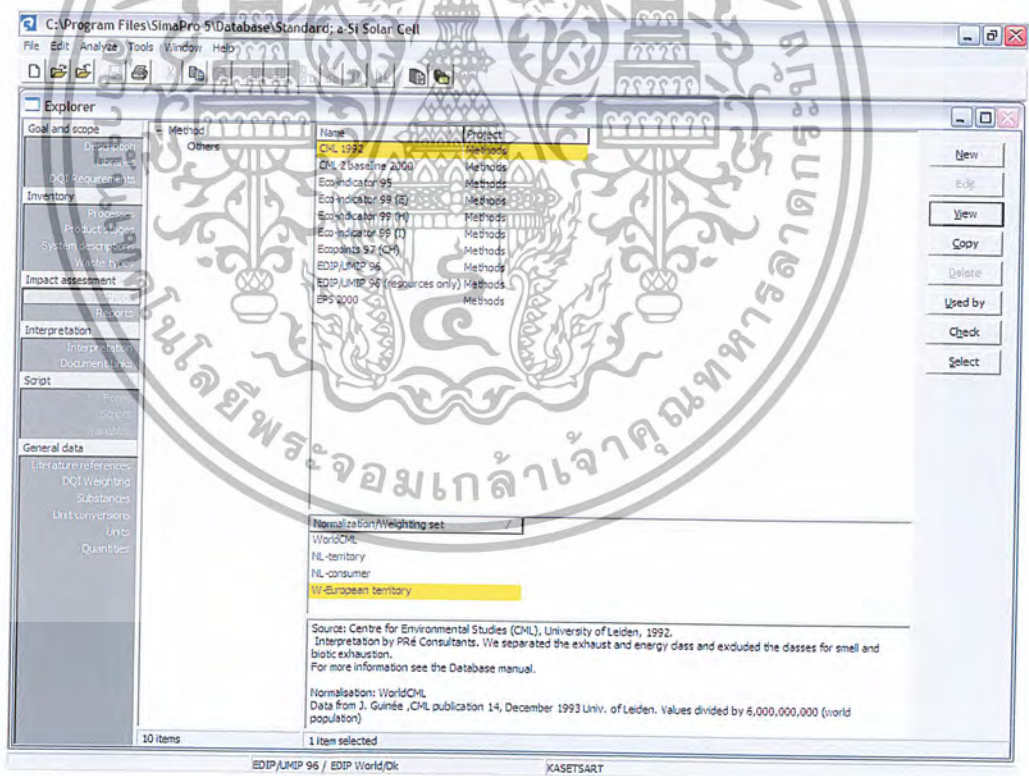
● >>Show data of all project<< สำหรับกำหนดให้มีการแสดงข้อมูลทั้งหมดที่มีอยู่ในทุกโปรเจกต์ภายในโปรแกรม

2. ส่วนของหัวข้อหลักต่างๆในการกรอกข้อมูล คือ

● Goal and Scope เป็นส่วนที่ให้การกรอกข้อมูลเกี่ยวกับคุณภาพของข้อมูลที่ใช้ในการทำโปรเจกต์ จุดมุ่งหมายในการทำโครงการ และเลือก Libraries ที่จะให้แสดงในโปรเจกต์ ส่วนนี้มีความสำคัญกับผลการวิเคราะห์ในด้านความน่าเชื่อถือของข้อมูลและผลการวิเคราะห์ แต่จะไม่มีผลกับการวิเคราะห์ทางตัวเลข

● Inventory เป็นส่วนสำคัญที่ใช้ในการกรอกและบันทึกข้อมูลที่ได้เก็บรวบรวมมา และเชื่อมโยงข้อมูลต่างๆเข้าด้วยกัน โดยในส่วนของหัวข้อ Processes จะใช้กรอกข้อมูลสารขาเข้าขาออกของเฟสต่างๆตามแต่จะกำหนด ส่วนหัวข้อ Product Stages จะเชื่อมโยงเฟสต่างๆเพื่อใช้ในการประมวลผลเปรียบเทียบแต่ละเฟส

● Impact Assessment เป็นส่วนที่ใช้เลือกวิธีการที่ใช้ในการประเมินผล ซึ่งวิธีการที่เลือกนั้นขึ้นอยู่กับหัวข้อที่เราสนใจ ตัวอย่างวิธีการได้แก่ CML Eco-indicator EDIP เป็นต้น



รูปที่ 4.3 แสดงการเลือกวิธีการที่ใช้ในการประเมินผลของโปรแกรม SimaPro.5.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

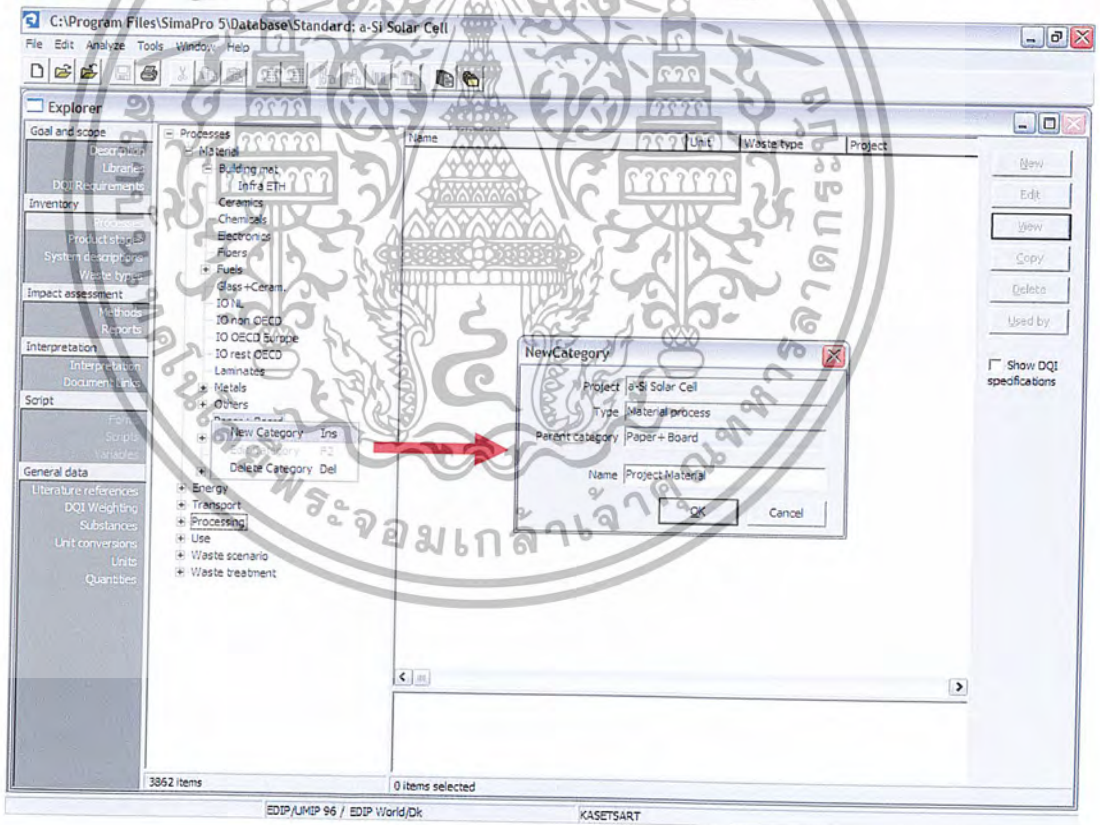
3. ส่วนนี้เป็นส่วนขยายของส่วนที่ 2 ซึ่งสภาพการกรอกข้อมูลจะเปลี่ยนไปตามการเลือกหัวข้อที่ปรากฏในส่วนที่ 2

การสร้างหมวดหมู่ (Category)

เมื่อเข้ามายังโปรเจกต์ที่สร้างไว้แล้วคลิกที่หัวข้อ Process จะพบว่าข้อมูลของสารต่างๆอยู่มากมายซึ่งเป็นข้อมูลที่มาจก Libraries ที่เปิดไว้ในส่วนของ Goal and Scope ซึ่งแบ่งประเภทของข้อมูลไว้ดังนี้

- Material
- Energy
- Transport
- Processing
- Use
- Waste Scenario
- Waste Treatment

หากเราสร้างข้อมูลของเราโดยไม่เพิ่มหมวดหมู่ก่อนจะทำให้ข้อมูลไม่เป็นระเบียบและยากต่อการติดตาม จึงควรสร้างหมวดหมู่ข้อมูลซึ่งใช้ในโปรเจกต์ของเราใหม่ดังนี้



รูปที่ 4.4 การสร้างหมวดหมู่ (Category)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

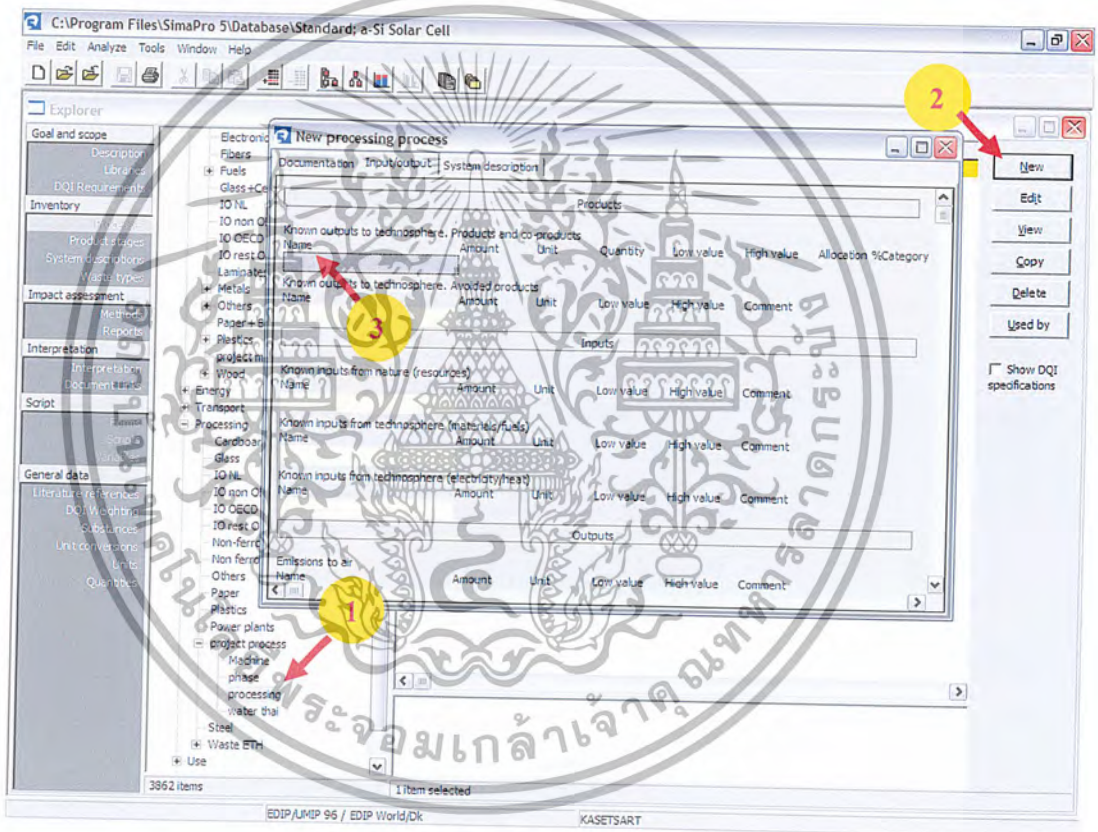
- สร้างหมวดของสารขาเข้า ขาออกของโปรเจคต์ในส่วนของ Material โดย คลิกขวาที่สารประเภทใดก็ได้ในส่วนของ Material จากนั้นเลือก New Category แล้วใส่ชื่อ (Project Material) ดังแสดงในรูปที่ 4.4

- การสร้างหมวดหมู่อื่นๆได้แก่ 'Project Process' 'Phase' และอื่นๆด้วยวิธีการดังข้างต้น

การสร้างข้อมูลสารขาเข้าและสารขาออก

- 1.คลิกเลือกหมวดที่ต้องการสร้างข้อมูลไว้ภายใน
- 2.คลิกที่ปุ่ม >>New<< จะปรากฏหน้าต่าง New Processing Process
- 3.กรอกข้อมูลต่างๆลงไปโดยคลิกสองครั้งที่ช่องสี่เหลี่ยมสีน้ำตาลจะเป็นการเพิ่มบรรทัด

สำหรับการกรอกข้อมูล ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 การสร้างข้อมูลสารขาเข้าและสารขาออก

- Product ให้กรอกข้อมูลของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการ หรือชื่อของกระบวนการ
- Inputs จะมี 3 ประเภทคือ natural (resources) คือวัตถุดิบที่ได้จากธรรมชาติ ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการแปรรูป เช่น แร่ธาตุต่างๆ technosphere (materials/fuels) คือวัสดุต่างๆที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

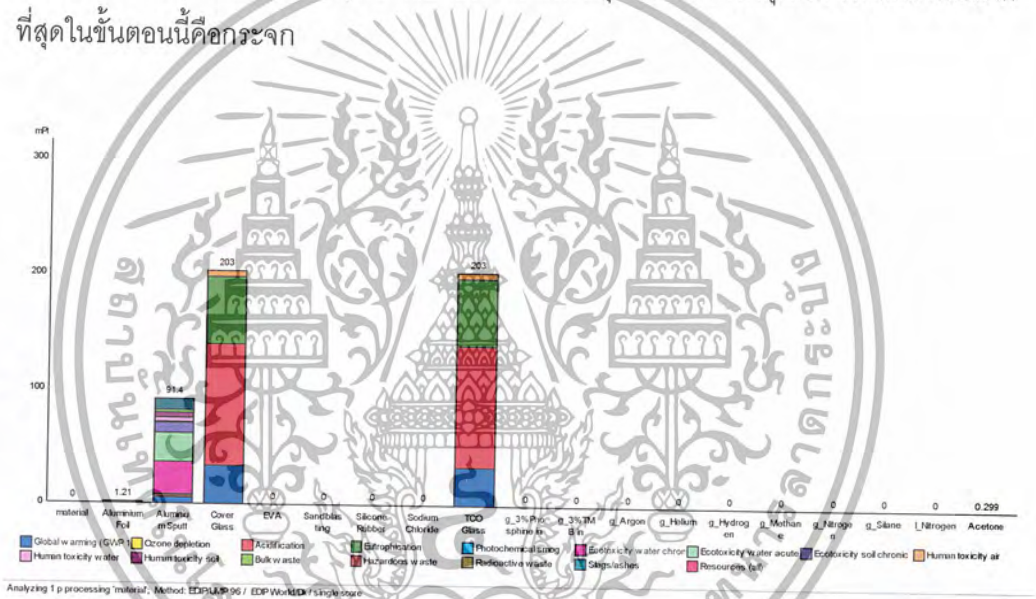
ผ่านกระบวนการต่างๆมาก่อน ส่วน technosphere (electricity/heat) จะเป็นส่วนของกระแสไฟฟ้าและพลังงานที่ใช้ ซึ่งสองส่วนหลังนี้ เมื่อคลิกสองครั้งโปรแกรมจะให้เข้าไปเลือกข้อสารซึ่งอยู่ใน Libraries

- Outputs จะเป็นการกรอกข้อมูลเกี่ยวกับการปลดปล่อยสาร (Emissions)

ออกมาจากระบบ

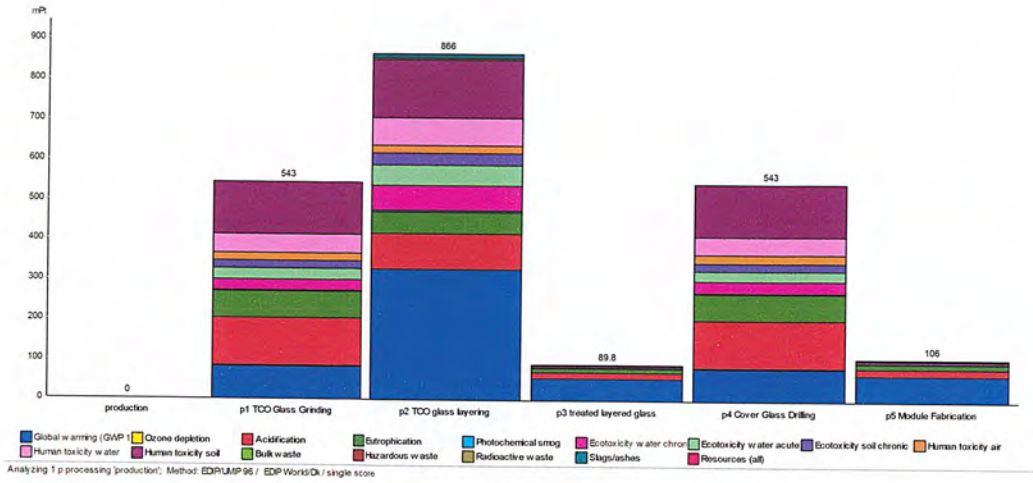
4.2 การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Impact Assessment) ด้วยวิธี EDIP

จากแผนภาพในรูปที่ 4.1 ชั้นเตรียมวัตถุดิบจะพบว่าวัตถุดิบที่ส่งผลกระทบมากที่สุดคือกระจก ซึ่งมีค่า 0.206pt แต่เนื่องจากในฐานข้อมูลไม่มีข้อมูลของวัตถุดิบที่ใช้หลายชนิด ทำให้ค่าของวัตถุดิบนั้นๆในแผนภูมิเป็นศูนย์ จึงยังไม่สามารถระบุแน่ชัดได้ว่าวัตถุดิบที่ส่งผลกระทบมากที่สุดในขั้นตอนนี้คือกระจก



รูปที่ 4.6 ผลกระทบในขั้นเตรียมวัตถุดิบของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ศึกษา (วิธี EDIP)

ส่วนในขั้นตอนการผลิตซึ่งแบ่งย่อยออกเป็น 5 ขั้นตอน จะพบว่าในขั้นตอนการสร้างชั้นฟิล์มบนกระจก (TCO Glass Layering) ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดโดยเฉพาะในด้านการทำให้โลกร้อนขึ้นมีค่าถึง 0.326pt (ค่าจากโปรแกรม) สืบเนื่องมาจากขั้นตอนนี้ใช้เครื่องจักรที่มีกำลังไฟฟ้าสูงและ การดำเนินการภายใต้สภาวะที่มีอุณหภูมิสูงมาก



รูปที่ 4.7 ผลกระทบในขั้นตอนการผลิตของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ศึกษา (วิธี EDIP)

ในขั้นการขนส่งใช้รถบรรทุกขนาด 16 ตัน ขนส่งจากบริษัทผู้ผลิตไปยังจังหวัดต่างๆ ทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือโดยคำนวณค่าระยะทางคูณมวลบรรทุก (ton.km) ได้ค่า 950.1487605 (วิธีคำนวณและข้อมูลดังภาคผนวก) เมื่อใส่ข้อมูลลงในโปรแกรม ได้ค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม 1.05pt และผลกระทบโดยมากเป็นผลกระทบทางด้าน Human toxicity soil ดังรูปที่ 4.2

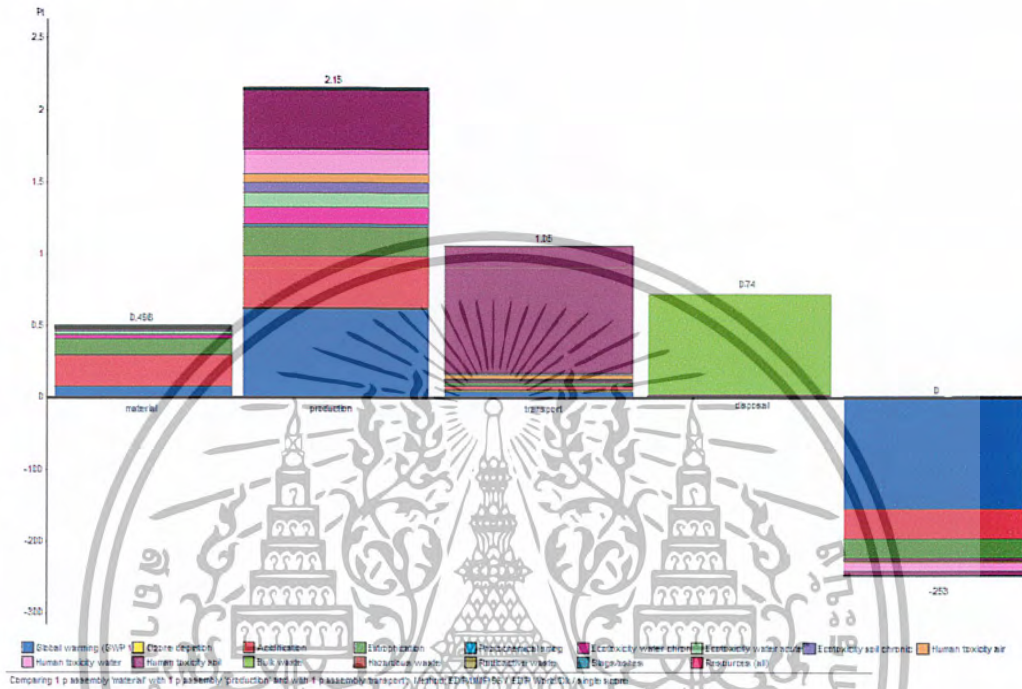


รูปที่ 4.8 ผลกระทบในขั้นการขนส่งของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ศึกษา (วิธี EDIP)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 สรุปผลการประเมินวัฏจักรชีวิต

สรุปว่าผลกระทบในช่วงของการผลิตมีค่ามากที่สุด แต่เมื่อเปรียบเทียบค่าผลกระทบในช่วงอื่นๆ กับผลกระทบในช่วงการใช้งานดังรูปที่ 4.6 จะพบว่าในช่วงการใช้งานมีค่าน้อยมาก เหมือนว่าค่าผลกระทบในช่วงการเตรียมวัตถุดิบ การผลิต การขนส่ง และการกำจัดทิ้งไม่มีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับค่าของช่วงการใช้งาน



รูปที่ 4.11 ผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ศึกษา (วัฏ EDIP)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์ผลการดำเนินงาน

5.1 วิจารณ์ผลการดำเนินงาน

จากการประเมินวัฏจักรชีวิตของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิกอน ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro 5.1 ผลที่ได้อาจมีความคลาดเคลื่อนไปบ้างทั้งนี้เพราะสาเหตุหลายประการ เช่น การขาดข้อมูลของวัสดุบางชนิดหรือการใช้ข้อมูลที่เป็นของต่างประเทศ เป็นต้น ซึ่งพอที่จะประเมินออกมาเป็นประเด็น ดังนี้

5.1.1 ผลการประเมินในขั้นการเตรียมวัตถุดิบ พบว่ายังไม่สามารถสรุปได้แน่ชัดว่าวัตถุดิบใดส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด เนื่องจากข้อมูลของวัตถุดิบหลายชนิดไม่พบในฐานข้อมูลของโปรแกรม SimaPro 5.1 และไม่สามารถเลือกใช้ข้อมูลวัตถุดิบชนิดอื่นมาแทน หรือหาข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับวัตถุดิบนั้นๆ ได้ เนื่องจากเป็นวัตถุดิบที่นำเข้ามาจากต่างประเทศและ/ หรือไม่ได้ทำการติดต่อขอข้อมูลจากทางบริษัทผู้ผลิตวัตถุดิบนั้นๆ มาก่อน ทางผู้ดำเนินโครงการจึงได้ละเว้นข้อมูลดังกล่าว อันได้แก่ ข้อมูลการผลิตก๊าซไทเลน ก๊าซ TMB ก๊าซฟอสฟีน พลาสติก EVA เป็นต้น ดังนั้น หากต้องการให้ผลการประเมินมีความน่าเชื่อถือยิ่งขึ้น ควรหาข้อมูลดังกล่าวมาใส่เพิ่มลงในโปรแกรม

5.1.2 ผลการประเมินในขั้นตอนการผลิต ถือได้ว่ามีความน่าเชื่อถือของข้อมูลมากพอสมควร เนื่องจากข้อมูลการใช้ไฟฟ้าและน้ำระหว่างกระบวนการผลิต เป็นข้อมูลที่ได้มาจากการทำวิจัยภายในประเทศไทย ดังนั้น สำหรับการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ใดๆ ในประเทศไทยเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด ควรใช้ข้อมูลวัตถุดิบต่างๆ ที่มีนักวิจัยของไทยได้เก็บรวบรวมไว้แล้ว ให้ได้มากที่สุด ยกตัวอย่างเช่น ไฟฟ้า น้ำประปา เป็นต้น ดังแสดงค่าในภาคผนวก ก

5.1.3 ผลการประเมินในขั้นการขนส่ง พาหนะที่ใช้ในการขนส่งจริงกับพาหนะที่ผู้ดำเนินโครงการเลือกใช้ในฐานข้อมูลของโปรแกรมอาจมีความแตกต่างกัน ทั้งในเรื่องขนาด ทรัพยากรที่ใช้และสารต่างๆ ที่ปลดปล่อยออกมาระหว่างการใช้งาน เนื่องจากความแตกต่างระหว่างสภาพแวดล้อมของแต่ละประเทศ

5.1.4 ผลการประเมินในขั้นตอนการใช้งาน การใช้งานจริงอาจมีอายุการใช้งานไม่ครบ 20 ปี ตามที่ได้ตั้งสมมุติฐานไว้ และอาจมีกำลังการผลิตกระแสไฟฟ้าลดลงตามสภาวะแวดล้อมและอายุการใช้งาน

5.1.5 ผลการประเมินในขั้นตอนการกำจัดทิ้งสำหรับในปัจจุบันถือว่าเป็นวิธีฝังกลบทั้งหมด แต่ในอนาคต อาจมีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากความเจริญก้าวหน้าทางเทคโนโลยี อาจทำให้สามารถแยกวัสดุบางประเภทอย่างเช่นกระจก กลับมาใช้ใหม่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น จึงควรเลือกทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของวัตถุดิบมูลฐานต่างๆก่อน เพื่อป้องกันปัญหา การขาดข้อมูลและเป็นการขยายฐานข้อมูล ซึ่งจะเป็นการนำไปสู่การประเมินวัฏจักรชีวิตของ ผลิตภัณฑ์ที่ซับซ้อนยิ่งขึ้นต่อไป คำว่าวัตถุดิบมูลฐานนั้นก็คือวัตถุดิบที่มักจะถูกนำมาใช้ในการผลิต ผลิตภัณฑ์ต่างๆ ยกตัวอย่างเช่น กระดาษ แก้ว พลาสติก เป็นต้น ซึ่งในประเทศไทยกำลังเริ่มทำการ รวบรวมข้อมูลในส่วนนี้

5.2 สรุปผลการดำเนินงาน

จากการประเมินวัฏจักรชีวิตของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิกอน พบว่า ขั้นตอนการผลิต ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม มากที่สุด เนื่องจากการใช้เครื่องจักรที่มีกำลังไฟฟ้าสูงตลอดจน อุณหภูมิระหว่างการดำเนินการที่มีค่าสูงมาก รองลงมาคือ ขั้นตอนการขนส่ง เนื่องจากระยะห่าง ระหว่างบริษัทผู้ผลิตกับผู้ใช้งานทำให้เกิดการสิ้นเปลืองพลังงานในการขนส่งมาก

ผลการประเมินสามารถระบุสาเหตุหลักของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม สามารถใช้เป็นแนวทาง ในการออกแบบและปรับปรุงให้ผลิตภัณฑ์เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น

ตลอดระยะเวลาการดำเนินโครงการนี้ ทำให้ผู้ดำเนินโครงการมีความรู้ความเข้าใจในเรื่องการ ประเมินวัฏจักรชีวิตมากขึ้น อีกทั้งยังเป็นการเผยแพร่แนวทางในการประเมินวัฏจักรชีวิตให้รู้จักกัน ในวงกว้างขึ้นเพื่อให้เกิดการนำแนวทางในการประเมินวัฏจักรชีวิตไปให้เกิดการแพร่หลายต่อไป

บรรณานุกรม

- [1] สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย. สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย. 2547. คู่มือการจัดทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์.
- [2] อังกรรัตน์ มุ่งเจริญ^{1,2}, สุรศักดิ์ วิทย์ศลาพงษ์^{1,2}, กิรณา จอมคำศรี², เสกสรร พาป็อง², จันธนา ยุวะนิยม², ปมทอง มาลากุล ณ อยุธยา. การประเมินวัฏจักรชีวิตของผู้เย็นที่ใช้ในบ้าน Life Cycle Assessment of Household Refrigerator. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, ²กลุ่มวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีสะอาด ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ
- [3] เกียรติภูมิ พวงงาม, เด่นมงคลชัย แก้วทอง. 2544. การประเมินวัฏจักรชีวิตเบื้องต้นของระบบโรงไฟฟ้า Life Cycle Assessment Of Power Plant System. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [4] รัตติกาล กองบุญ, รุจจิเรศ ขวัญข้าว. 2545. การประเมินวัฏจักรชีวิตสำหรับสารทำความเย็นของเครื่องทำความเย็น Life Cycle Assessment For Refrigerant Of Chiller. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [5] กิตติมา ขำสำอางค์, อรวีร์ ศิลป์ศรีกุล. 2541. การประยุกต์ใช้หลักEcodesignในอุตสาหกรรมพลาสติก Eco-Design In Plastic Processing Plant. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- [6] วิภาณดา วรานันต์ชูวิทย์, สุดริดา ไรจนเมธินทร์. การตรวจประเมินเทคโนโลยีสะอาดในภาควิชาวิศวกรรมเคมี Cleaner Technology Audit Project In Chemical Engineering Department. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์: พ.ศ.2542
- [7] อังกรรัตน์ มุ่งเจริญ, นงคินุช พงศ์ชัยวินุลย์. การประเมินด้านสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของโรตารีคอมเพรสเซอร์ Life Cycle Environmental Assessment of Rotary Compressor. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- [8] G.J.M. Phylipsen, E.A Alsema. Environmental life-cycle assessment of multicrystalline silicon solar cell modules. Department of Science, Technology and Society, Utrecht University, the Netherlands
- [9] www.pre.nl
- [10] www.tei.or.th

[11] http://www.egat.co.th/rdo/energy/web-solarcell/basic_solar.html

[12] <http://www.mtec.or.th/th/research/ctap/Main/Welcome.htm>

[13] ศรีวัฒนา หนูหนักดี. 2546. EU เตรียมเสนอระเบียบมาตรฐานการออกแบบสินค้าที่ใช้พลังงานต้องติดฉลาก EuP. ศูนย์สารสนเทศการค้าระหว่างประเทศ, กรมส่งเสริมการส่งออก

[14] Mark Goedkoop and Michiel Oele. 2004. SimaPro 6-Introduction to LCA with SimaPro. Prè Consultants.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ข้อมูลการประเมินวัฏจักรชีวิต
ของการผลิตกระแสไฟฟ้าและน้ำประปาที่ใช้ในกระบวนการ

โรงไฟฟ้าถ่านหิน (Coal Power Plant) 1 กิโลวัตต์. ชั่วโมง

Known inputs from technosphere (materials/fuels)

Concrete I	5.72 E -4	kg
Steel I	5.5 E -4	kg
X22CrNi 17 (431) I	1.95 E -4	kg
Copper I	2.14 E -4	kg
Aluminium rec. 1	9.63 E -9	kg

Known inputs from technosphere (electricity/heat)

Natural gas I	8.14 E -3	kg
Crude oil I	5.25 E -5	kg
Diesel I	4.14 E -3	kg
Crude lignite	9.16 E -1	kg

Emission to air

CO ₂	1.3889	kg
CO	0.00002159	kg
N ₂ O	4.32 E -5	kg
NO _x	6.37 E -3	kg
VOC	2.16 E -5	kg
Methane	1.62 E -5	kg
Dust	5.52 E -5	kg
SO ₂	3.48 E -5	kg

โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม (Combine Power Plant) 1 กิโลวัตต์. ชั่วโมง

Known inputs from technosphere (materials/fuels)

Concrete	5.2 E -4	kg
Steel I	4.15 E -4	kg
X22CrNi 17 (431) I	1.77 E -4	kg
Copper I	6.54 E -7	kg
Aluminium rec. 1	3.7 E -9	kg

Known inputs from technosphere (electricity/heat)

Natural gas I	2.81 E -1	kg
Crude oil I	1.23 E -5	kg
Diesel I	4.36 E -4	kg

Emission to air

CO ₂	1.01 E -3	kg
CO	2.16 E -7	kg
N ₂ O	2.8 E -8	kg
NO _x	2.72 E -6	kg
VOC	6.46 E -8	kg
Methane	9.6 E -9	kg
Dust	2.44 E -7	kg
SO ₂	4.21 E -9	kg

โรงไฟฟ้าดีเซล (Diesel Power Plant) 1 กิโลวัตต์. ชั่วโมง

Known inputs from technosphere (materials/fuels)

Concrete	5.95 E -3	kg
Steel I	4.29 E -3	kg
X22CrNi 17 (431) I	2.02 E -3	kg
Copper I	1.32 E -8	kg
Aluminium rec. 1	7.42 E -9	kg

Known inputs from technosphere (electricity/heat)

Natural gas I	2.93 E -3	kg
Crude oil I	7.57 E -3	kg
Diesel I	2.95 E -1	kg

Emission to air

CO ₂	7.69 E -1	kg
CO	4.06 E -4	kg
N ₂ O	1.22 E -4	kg
NO _x	2.84 E -3	kg
VOC	4.06 E -5	kg
Dust	1.46 E -4	kg
SO ₂	4.06 E -4	kg

โรงไฟฟ้ากังหันก๊าซ (Gas Power Plant) 1 กิโลวัตต์. ชั่วโมง

Known inputs from technosphere (materials/fuels)

Concrete	1.49 E -3	kg
Steel I	1.08 E -3	kg
X22CrNi 17 (431) I	5.06 E -4	kg
Copper I	1.08 E -8	kg
Aluminium rec. 1	6.18 E -9	kg

Known inputs from technosphere (electricity/heat)

Natural gas I	4.65 E -1	kg
Crude oil I	2.92 E -5	kg
Diesel I	7.78 E -6	kg

Emission to air

CO ₂	9.9 E -4	kg
CO	5.17 E -7	kg
N ₂ O	9.28 E -9	kg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NO _x	3.35 E -5	kg
VOC	7.14 E -8	kg
Methane	1.05 E -7	kg
Dust	1.76 E -8	kg
SO ₂	1.99 E -15	kg

โรงไฟฟ้าพลังน้ำ (Hydro Power Plant) 1 กิโลวัตต์. ชั่วโมง

Known inputs from technosphere (materials/fuels)

Concrete	2.07 E -2	kg
Steel I	5.5 E -4	kg
X22CrNi 17 (431) I	3.68 E -4	kg
Cement (Portland) I	1.99 E -6	kg

โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน (Thermal Power Plant) 1 กิโลวัตต์. ชั่วโมง

Known inputs from technosphere (materials/fuels)

Concrete I	6.78 E -4	kg
Steel I	5.29 E -4	kg
X22CrNi 17 (431) I	2.31 E -4	kg
Copper I	1.02 E -8	kg
Aluminium rec. 1	5.73 E -9	kg

Known inputs from technosphere (electricity/heat)

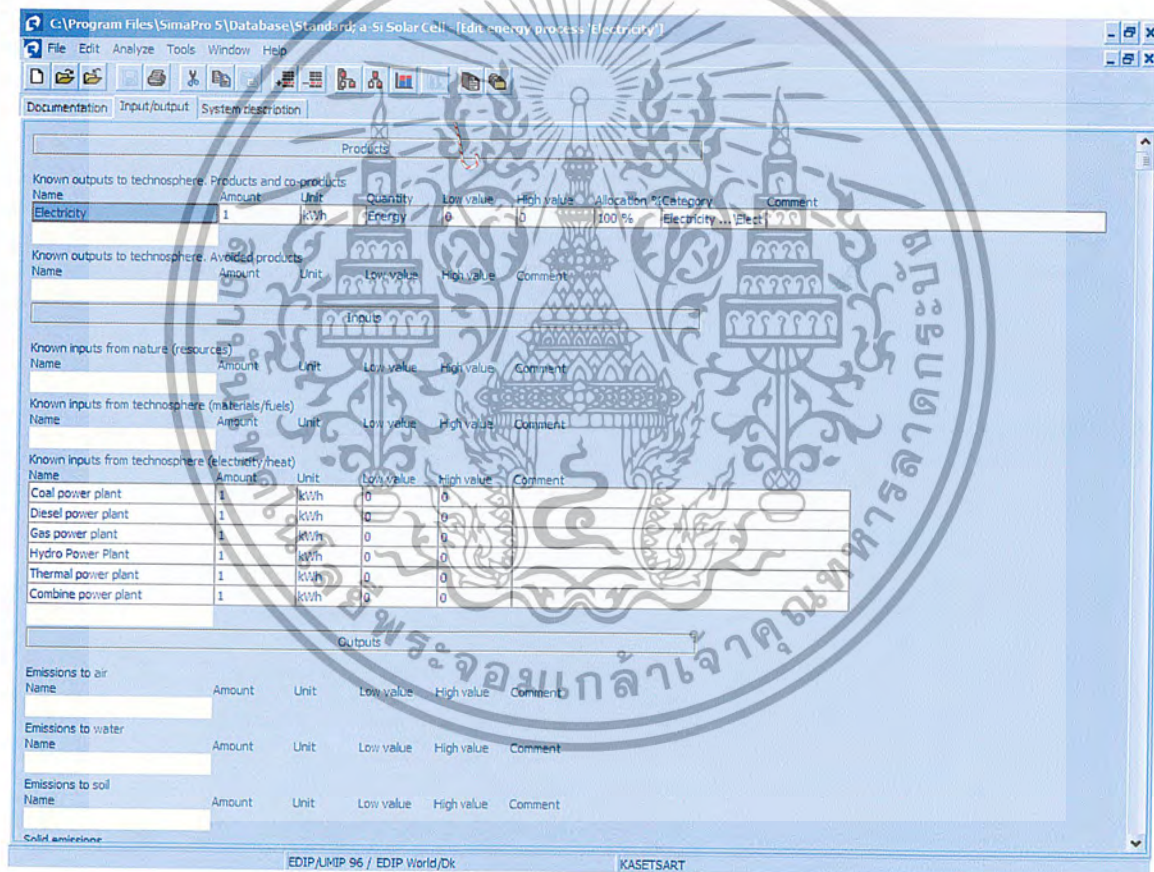
Natural gas I	1.57 E -1	kg
Crude oil I	1.5 E -1	kg
Diesel I	9.31 E -4	kg

Emission to air

CO ₂	1.05 E -3	kg
CO	2.7 E -7	kg
N ₂ O	2.91 E -8	kg

NO _x	2.90 E -6	kg
VOC	6.59 E -8	kg
Methane	1.53 E -8	kg
Dust	2.52 E -7	kg
SO ₂	4.59 E -9	kg

เมื่อกรอกข้อมูลของโรงไฟฟ้าทั้ง 6 ประเภทแล้ว จากนั้นจะรวมให้เป็นโรงไฟฟ้าของประเทศไทย (Electricity in Thai) โดยสร้างเป็นอีกผลิตภัณฑ์หนึ่งขึ้นมาและตั้งชื่อว่า 'Electricity in Thai' ซึ่งสารขาเข้าของผลิตภัณฑ์นี้ก็คือโรงไฟฟ้าที่ได้สร้างไว้แล้วทั้ง 6 ประเภท ดังรูปที่ 1



รูปที่ ก.1 แสดงการกรอกข้อมูลกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในประเทศไทยโดยรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การผลิตน้ำประปาในประเทศไทย 1 กิโลกรัม

Known inputs from nature (resources)

water	1040.29	g
-------	---------	---

Known inputs from technosphere (materials/fuels)

Iron	266.852	g
Concrete I	2.1029	g
Concrete (reinforced) I	3.318	g
Cement (Portland) I	13.895	g
NaOH ETH S	34.538	g
Lime I	0.585	g

Known inputs from technosphere (electricity/heat)

Electricity in Thai (mix)	0.1302	kWh
---------------------------	--------	-----

Emission to water

waste water (vol)	12.786	cm ³
-------------------	--------	-----------------